Ciencia e INGENIERÍA

Enero
Junio
2018

Revista de las Facultades de Ingeniería y Ciencias Básicas y Aplicadas

ISSN: 2389 - 9484

REVISTA CIENCIA E INGENIERIA

La Revista Ciencia e Ingeniería, es un medio de divulgación científica de la Universidad de La Guajira y está dirigido a la comunidad científica, profesional y académica de las áreas de la Ciencias Básicas e Ingenierías, como a toda la comunidad en general. La revista Ciencia e Ingeniería se publica semestralmente en formato Open Journal Systems; puede ser consultada gratuitamente en la dirección http://revistas.uniguajira.edu.co/index.php/cei.

Dirección de contacto: Universidad de la Guajira, Km5 via a Maicao, Facultad de Ciencias Básicas y Aplicadas o Facultad de Ingeniería. PBX 7282729 Ext 249-241, e-mail revistas@uniguajira.edu.co

Los autores son responsables de los artículos aquí publicados.
Se autoriza la reproducción total o parcial de los artículos citando la fuente el autor o los autores

Revista Ciencia e Ingeniería-Riohacha, La Guajira, Colombia ISSN: 2389-9484

DIRECTIVAS ACADEMICAS

CARLOS ARTURO ROBLES JULIO
Rector

EROTIDA MEJIA CURIEL
Vice-Rectora Académica

ALBERTO CELEDON MOLINARES
Vice-Rector de Investigación y Extensión

VICTOR PINEDO GUERRA
Director de investigaciones

BORIS ROMERO MORA
Vicerrector Administrativo y Financiero

KERRY DIAZ FUENMAYOR
Decana Facultad Ciencias Básicas

JAIRO SALCEDO DAVILA
Decano Facultad Ingenierías

UNIVERSIDAD DE LA GUAJIRA | SHIKII EKIRAJIA PULEE WAJIRA
NIT.892.115.029-4

Revista Ciencia e Ingeniería
Academia y Proyección Social

COMITÉ EDITORIAL

Ing. Civil Andrea Nardini.– Centro Italiano de Restauración de Ríos, CIRF, Italia
Ph.D Emilio Beier. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California- CICESE, México.
Ph.D Rafael Galeano Andrade. Universidad de Cartagena, Colombia
Ph.D Alfonso Aguilar. Universidad Autónoma de Puerto Rico, Puerto Rico
Ph.D Larry Jiménez Ferbans. Universidad del Magdalena

COMITÉ CIENTÍFICO

Edgar Morin. CNRS, París, Francia
Pedro L. Sotolongo. Instituto de Filosofía, La Habana, Cuba
Ph.D Mónica Alfaro. Universidad de Puerto Rico, Estados Unidos
MS.c. Samuel Zambrano. Universidad de La Guajira. Colombia
Ph.D. Marlon Bastidas Barranco. Universidad de La Guajira. Colombia
Ph.D Andrés Galindo Montero, Universidad de La Guajira. Colombia
Ph.D Nelson Valero, Universidad de La Guajira. Colombia
MSc. Miguel Pitre Redondo, Universidad de La Guajira Colombia.
MSc. Carlos Doria Argumedo, Universidad de La Guajira. Colombia
Post Doctor. Ramon Matos Mareño, Universidad Libre de Colombia
Ph.D Hector Severeyn, Universidad del Zulia. Venezuela
Ph.D Gerardo Aldana Villasmil, Universidad del Zulia. Venezuela
Ph.D Cesar Torres, Universidad Popular del Cesar. Colombia

EQUIPO EDITORIAL

Ph.D. Lacides Pinto Mindiola. Editor General
PhD. Leanis Pitre Ruiz. Editor Ejecutivo, Editor Ciencias Básicas Ph.D.
Fabio Moya Camacho. Coordinador de Sistemas, Editor Ingenierías PhD.
Olenka Virginia Gómez Julio. Editor Ingenierías
MSc. José Martínez Gil. Editor Ciencias Básicas

UNIVERSIDAD DE LA GUAJIRA | SHIKII EKIRAJIA PULEE WAJIRA
NIT. 892.115.029-4

Revista Ciencia e Ingeniería
Academia y Proyección Social

Comité de Ética
Comité de Ética – Universidad de La Guajira. Colombia
Adela Cortina (Universidad de Barcelona, España)

Diseño Gráfico: Mairys Mariam Porto Ariño – Universidad de La Guajira. Colombia
Diagramación: Sara Luz Villero C – Universidad de La Guajira – Colombia

Traductor a Ingles: Ricardo Antonio Simancas Trujillo - Colombia

Kilómetro 5 vía a Maicao, La Guajira

www.uniguajira.edu.co - PBX 7282729. Ext. 249 - 241
E-mail. revistas@uniguajira.edu.co

Ciencia e Ingeniería
Revista Interdisciplinar de Estudios en Ciencias Básicas e Ingenierías.
Año 2018**, Enero-Junio,** Vol. (5) N° (1). **ISSN 2389-9484.**
Universidad de La Guajira, Facultades de Ciencias Básicas y Aplicadas e Ingeniería.
La Guajira-Colombia.
Revista en Línea http://revistas.uniguajira.edu.co/index.php/cei

Índice de contenidos

EDITORIAL

Ismael Cáceres-Correa

7

ARTÍCULOS

María Alejandra Caballero Carrera & Hans Thielin Castro Salazar

Análisis in vitro de la actividad biológica de aceites esenciales de orégano y tomillo en hongos fitopatógenos del arroz (*Oryza sativa L.*). Analysis in vitro of the biological activity of essential oregan oils and thyme in fitopathogen fungus of rice (*Oryza sativa L.*)

8-18 (1-11)

Maira Alejandra Montes Lozano & Johana Paola Zuñiga Pichón

Ecología y aplicaciones de metabolitos secundarios de los géneros Dictyota, Padina y Sargassum (Phaeophyta). Ecology and application of secondary metabolites of the genera Dictyota, Padina and Sargassum (Phaeophyta)

19-30 (12-23)

William Andrés Flórez Bermúdez & Hans T. Castro Salazar

Evaluación de la actividad fungicida del limoncillo (Cymbopogon citratus) en el tomate (Lycopersicum esculentum) in vitro. Evaluation of the fungicide activity of lemongrass (Cymbopogon citratus) in the tomato (Lycopersicum esculentum) in vitro

31-49 (24-42)

Cubillos Sierra Dayana F., Huertas Huertas Diana M., Contreras León Henry

Evaluación de la eficiencia de remoción de materia orgánica de un biodigestor tubular anaerobio a escala piloto. Evaluation of the efficiency of removal of organic matter from a pilot scale pipeline anaerobio biodigestor

50-64 (43-57)

Directrices para autores, autoras y evaluadores/as
65-72

EDITORIAL

Se me ha invitado a escribir la editorial de la revista Ciencia e Ingeniería de la Universidad de La Guajira que es una publicación semestral en la que se da cuenta principalmente de distintas aplicaciones ya sea de técnicas novedosas o de experimentaciones en laboratorio. Es un área de la cual desconozco en lo específico, pero que me sorprende al ver las posibilidades de acción y de mejoras con las que contribuye. Aun así, comparte con las ciencias sociales, que es mi área (educación), una interrogante que está implícita siempre: ¿Qué es el conocimiento? Y más específicamente ¿A qué consideramos nuevo conocimiento científico?

En epistemología se trabaja desde estas preguntas para determinar cómo es que podemos concebir lo que es conocimiento científico. Sometemos a ese conocimiento a juicio, observamos la rigurosidad con la que se obtuvo, qué metodología aplicó, de dónde obtuvo sus datos, por qué se interesó en ellos, entre otras cosas; le preguntamos a ese conocimiento si su carácter es el de presentar la realidad fundamentada o si simplemente es una mirada parcial y ordinaria.

Revista Ciencia e Ingeniería contribuye al acervo de conocimientos científicos con aplicaciones prácticas, lo cual permite mejorar cómo nos enfrentamos con la naturaleza para dialogar con ella más y mejor. Estoy seguro que la publicación actual tendrá temas que serán de su interés y de los cuales tomará provecho.

Ismael Cáceres-Correa
Universidad de Concepción

Ciencia e Ingeniería
Revista Interdisciplinar de Estudios en Ciencias Básicas e Ingenierías.
Año 2018, Enero-Junio, Vol. (5) N° (1), pp. 1-11. ISSN 2389-9484.
Universidad de La Guajira, Facultades de Ciencias Básicas y Aplicadas e Ingeniería.
La Guajira-Colombia.
Revista en Línea http://revistas.uniguajira.edu.co/index.php/cei

ANÁLISIS IN VITRO DE LA ACTIVIDAD BIOLÓGICA DE ACEITES ESENCIALES DE ORÉGANO Y TOMILLO EN HONGOS FITOPATÓGENOS DEL ARROZ (*Oryza sativa L.*)

ANALYSIS IN VITRO OF THE BIOLOGICAL ACTIVITY OF ESSENTIAL OREGAN OILS AND THYME IN FITOPATHOGEN FUNGUS OF RICE (*Oryza sativa L.*)

María Alejandra Caballero Carrera[1] & Hans Thielin Castro Salazar[2]

1. Ingeniera Ambiental, Corporación Universitaria del Huila-CORHUILA, Grupo de Aplicación e Investigación Ambiental-GAIA. macaballero@corhuila.edu.co
2 . Químico, Ph. D, Docente, Corporación Universitaria del Huila-CORHUILA, Grupo de Aplicación e Investigación Ambiental-GAIA. hans.castro@corhuila.edu.co

Recibido: Agosto 15 de 2017 Aceptado: Enero 20 de 2018

RESUMEN

El Arroz en uno de productos agrícolas con mayor demanda en el país, debido a que constituye la base de la alimentación colombiana y, por lo tanto, su producción y necesidad de consumo aumenta de manera proporcional a la población. El rendimiento del cultivo se ve afectado por enfermedades fúngicas. En este trabajo de investigación se analizó el efecto fungicida que tienen los aceites esenciales (AE) de orégano y tomillo en concentraciones de 500 y 1000ppm, obtenidos por hidrodestilación en un equipo Clevenger, sobre cepas del hongo fitopatógeno *Fusarium spp*. encontrados en el cultivo del arroz (*Oryza sativa L.*). Las pruebas se dividieron en tres grupos experimentales, el primero fue con los AE, el segundo fue el control y el tercer o último grupo fue el testigo comercial; estos tres usando como medio de cultivo el PDA e incubando a 26ºC y 90%HR durante siete días después de su inoculación; la variable de control fue el crecimiento radial (mm) de la colonia. Los AE evaluados mostraron una inhibición del crecimiento micelial por encima del 90%. Por este motivo, se demuestra que los AE se pueden convertir en una opción viable para el control de enfermedades causadas por hongos fitopatógenos.

Palabras clave: Plaguicidas botánicos, cultivo de arroz, hongos fitopatógenos.

ABSTRACT

The rice in one of agricultural products with greater demand in the country, because it is the basis of the Colombian diet and, therefore, its production and consumption need increases proportionally to the population. The yield of the crop is affected by fungal diseases. In this research work the fungicidal effect of the essential oils (AE) of oregano and thyme in concentrations of 500 and 1000ppm, obtained by hydrodistillation in a Clevenger equipment, on strains of the phytopathogenic fungus *Fusarium spp*. found in the cultivation of rice (*Oryza sativa L.*). The tests were divided into three experimental groups, the first was with the AE, the second was the control and the third or last group was the commercial witness; these three using the PDA as a culture medium and incubating at 26ºC and 90%HR for seven days after inoculation; the control variable was the radial growth (mm) of the colony. The AE evaluated showed an inhibition of mycelial growth above 90%. For this reason, it is demonstrated that AE can become a viable option for the control of diseases caused by phytopathogenic fungi.

Key words: Botanical pesticides, rice cultivation, phytopathogenic fungi.

1. INTRODUCCIÓN

El arroz (*Oryza sativa L.*) es considerado el cultivo más importante del mundo, además de ser un producto básico como el maíz, posee la mayor extensión de tierra cultivada y el mayor número de personas dedicadas a su producción. Casi el 50% de la población mundial, depende del arroz como parte importante de su dieta, el consumo per cápita mundial para 2011, estuvo entre los 65 kilogramos. La producción de arroz en Colombia, genera alrededor de 500 mil empleos directos e indirectos, en más de 215 municipios, los cuales dependen en un 90% de ésta actividad (Chica L., Tirado O., & Barreto O., 2016).

El Huila, ha sido pionero en el sector arrocero con la cifra histórica de 570.802 hectáreas sembradas en el 2016 y un rendimiento promedio de 7,5 toneladas por hectárea (DIARIO DEL HUILA, 2017). seguido de Tolima con 7,2 toneladas /hectárea y Valle del Cauca con 7,1 toneladas/hectárea.

La siembra mecanizada del cultivo permitió el crecimiento de la producción nacional en un 14 por ciento (%) durante el segundo semestre de 2016, es decir, 178.155 hectáreas, frente al mismo periodo de 2015 siendo el departamento del Huila el aportante del 44,3 por ciento (%) con 6.063 hectáreas más con relación al mismo periodo del 2015 (FINAGRO, 2017).

La incidencia y extensión de este cultivo permite el desarrollo de microorganismos fúngicos; los cuales afectan significativamente la producción de éste cereal; los hongos fitopatógenos más comunes en éste pueden ser *Curvularia sp., Fusarium spp., Rhizoctonia solani, Pyricularia oryzae, Helminthosporium spp, Cercospora Oryzae, Gerlachia Oryzae, Gaeumannomyces graminis (Sacc.)* y *Pyricularia grisea (Sacc.),* este último provocando grandes pérdidas en las cosechas a nivel mundial (Tejera, Heydrich, & Rojas, 2012).

Por ende, su control se torna una necesidad para sostener la producción; una de las vías más utilizadas es el uso de plaguicidas sintéticos causando problemas de salud pública y ambiental; debido a que, durante su aplicación en la planta, el 40 % del plaguicida termina en el aire, agua y suelo.

Fusarium spp. es un hongo filamentoso aislado de plantas y suelo (Tangarife C., 2016). Éste agente patógeno causa una de las enfermedades comunes de las raíces, puede causar una gran cantidad de síntomas, desde manchas foliares hasta marchites y pudrición de la copa, el bulbo y hasta de la raíz; las esporas de *Fusarium spp.* se mueven fácilmente y pueden ser arrastrados de una planta a otra. *Fusarium spp.* puede causar una gran variedad de síntomas. Se pueden formar lesiones hundidas de color negro o marrón en la base de los tallos; pueden haber manchas rojizas cercanos a la copa de la planta y, a veces, masas de micelios algo rosadas o blancas que crecen en la base de los esquejes o en la copa de una planta (Buechel, 2018).

Existen distintos medios que permiten su crecimiento; entre ellos, agar papa dextrosa (PDA), agar Sabouraud, agar Clavel (CLA), agar de Spezieller Nährstof-farmer (SNA) y agar avena. Los agares PDA y Sabouraud permiten observar el diámetro de la colonia, morfología y pigmento (café, rojo, violeta, naranja, gris, blanco) difusible al medio,

mientras que el agar CLA, permite observar el desarrollo de cadenas de microconidios y morfología en detalle de macroconidios (Tapia & Amaro, 2014).

En consecuencia, tanto los arroceros como los investigadores han implementado alternativas sostenibles para evitar los efectos negativos y manejar las plagas de este cultivo de una manera sostenible, mediante los plaguicidas botánicos los cuales son adquiridos de plantas aromáticas para controlar naturalmente las plagas fúngicas que se presenten, contribuyendo al cuidado de los suelos, aire, calidad del agua y organismos vivos.

Finalmente, las investigaciones acerca del control con bioplaguicidas están iniciando a nivel regional y están siendo poco referenciados en la literatura, por ende, ofrece la posibilidad de adentrase en este tema, debido a que, las enfermedades causadas por hongos fitopatógenos generan pérdidas económicas en la producción de los cultivos, no solo en el departamento del Huila sino del país en general. El objetivo dede la investigación fue analizar la actividad antifúngica *in vitro* de los Aceites Esenciales (AE) de orégano y tomillo sobre *Fusarium spp* como una alternativa para el impulso de la agricultura sostenible.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación fue de tipo experimental. La unidad de muestreo fueron las colonias de *Fusarium spp* con repeticiones por quintuplicado para cada grupo experimental.

2.1. Recolección del material vegetal:

Las plantas de Orégano (*Origanum vulgare*) y Tomillo (*Thymus vulgaris*), fueron recolectadas en el municipio de Neiva – Huila con coordenadas 2°55'55.54"N 75°15'53.46"W.

2.2 Extracción del aceite esencial:

Los aceites esenciales se obtuvieron por arrastre con vapor de agua implementando un equipo Clevenger, para este proceso se adicionaron 700 mL de agua destilada en todos los casos y una cantidad determinada del material vegetal (Tabla 1) en un balón redondo de fondo plano de una capacidad de 2000 mL, consecutivamente, se sometieron a temperatura constante de 80°C durante 60 min; una vez alcanzado el punto de ebullición el vapor de agua es condensado en una trampa Dean Stark y por diferencia de densidad queda separada la fase acuosa y oleosa. Posteriormente, se retiró el aceite y por cada mililitro se adicionaron 5 mg de sulfato de sodio anhidro (Na_2SO_4) para evitar la oxidación y finalmente se conservó a 4 °C.

Tabla 1. Porcentaje de Rendimiento de Aceite Esencial (%RAE)*****

Material Vegetal	**Peso Material Vegetal -W_{MV} (g)**	**Cantidad AE extraído (mL_{AE})**	**%R_{AE} = (mL_{AE}/W_{MV}) *100**
Orégano	285	0.4	0.1
Tomillo	215	0.6	0.3

*****%RAE: Porcentaje de Rendimiento de Aceite Esencial. **Fuente:** Autores.

2.3. Composición química de los aceites esenciales:

La composición química volátil (cantidad relativa, % e identificación presuntiva) de los aceites esenciales de orégano y tomillo, fue analizada por El Centro Nacional de Investigaciones para la Agroindustrialización de Especies Vegetales Aromáticas y Medicinales Tropicales – CENIVAM (Universidad Industrial de Santander), empleando cromatografía de gases con detector selectivo de masas (GC-MS), operado en el modo de barrido completo de radiofrecuencias (*full scan*). Los rendimientos de extracción obtenidos de los aceites esenciales de hojas de orégano y tomillo fueron 0.3 y 0.5, respectivamente.

2.4. Identificación y cultivo *in vitro:*

Se aisló el hongo *Fusarium spp.* de plantas de arroz que presentaron síntomas de enfermedad ubicadas en el Corregimiento de Guacirco del Municipio de Neiva – Huila con coordenadas 3°06'03.19"N 75°16'20.85"W, se realizó el aislamiento de forma directa y se sembró en el medio de cultivo Agar Papa Dextrosa (PDA), se incubaron a 26 ºC durante siete días en ausencia de luz. Para la identificación de estructuras fungosas se utilizó las claves taxonómicas de la morfología del micelio y sus estructuras fructificantes, somáticas y reproductivas tomada de Tangarife C. Verónica (2016).

Pasados los siete días de crecimiento de la colonia pura, se efectuaron los respectivos repiques en cajas Petri que contenían PDA más los Tratamientos (AE) con concentraciones de 500 y 1000 ppm. El proceso se realizó por quintuplicado para cada una de las concentraciones; adicionalmente se tuvo un grupo como testigo absoluto o grupo control (sin tratamiento) y uno como testigo comercial (Silvacur®). Para el análisis del crecimiento del hongo fitopatógeno se midió el diámetro de crecimiento (mm) de la colonia a los dos, cinco y siete días después de la inoculación en el medio de cultivo con los tratamientos.

2.5. Variantes de estudio

Variables empleadas para validar los resultados:

- **Porcentaje (%) de Inhibición del crecimiento:** se estableció por medio de la medición del diámetro del crecimiento de la colonia a los dos, cinco y siete días, para cada uno de las pruebas mediante la ecuación (1) propuesta por Sztejnberg *et al.* (1987) y tomada de Alzate *et al.* (2009).

(Ec. 1) ***Porcentaje % de Inhibición del crecimiento=***

[1- {crecimiento en el tratamiento (mm)/ crecimiento en el testigo (mm)}] x 100

- **Actividad fungicida:** se ejecutó teniendo en cuenta los valores del porcentaje (%) de inhibición del crecimiento; para este procedimiento se tomó el inóculo en el que se inhibió aproximadamente por completo el crecimiento micelial (>90%), se llevó a cajas petri con medio de cultivo PDA sin tratamiento y se incubó durante 7 días más con el fin de analizar si en las concentraciones manejadas los tratamientos presentan efecto fungicida (cuando provoca la

muerte del fitopatógeno) o fungistático (cuando frena el crecimiento micelial del fitopatógeno).

3. RESULTADOS

3.1. Composición química de los aceites esenciales:

La identificación presuntiva de los compuestos registrados en los AE, se realizó con base en sus espectros de masas (EI, 70eV); usando las bases de datos Adams, Wiley y NIST. En la tabla 2 y 3, aparece la identificación presuntiva y la cantidad relativa (%) de los componentes presentes en ellos y analizados por GC-MS operado en el modo de barrido completo de radiofrecuencias (*full scan*) con sus respectivos cromatogramas, en la Gráfica 1 se visualiza el perfil cromatográfico del aceite esencial de orégano y en la Gráfica 2 el perfil cromatográfico del AE de tomillo.

Tabla 2. Identificación presuntiva y cantidad relativa (%) de los componentes presentes el aceite esencial de orégano.

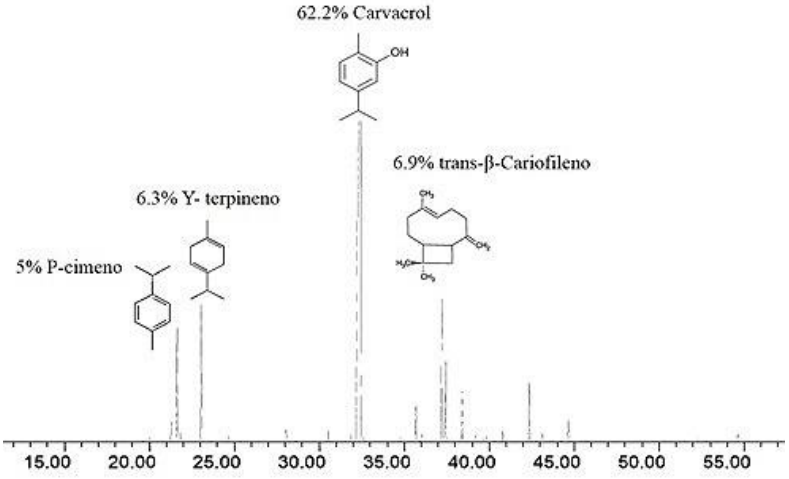
t_R, min	Compuesto Identificado
21.64	*p*-Cimeno
23.06	*γ*-Terpineno
32.42	Carvacrol
38.68	*trans*-Cinnamato de metilo
37.22	*trans*-β-Cariofileno
37.44	*trans*-α-Bergamoteno
38.41	α-Humuleno
42.36	Óxido de Cariofileno
---	Otros

Fuente: Autores con base en resultados del CENIVAM –UIS.

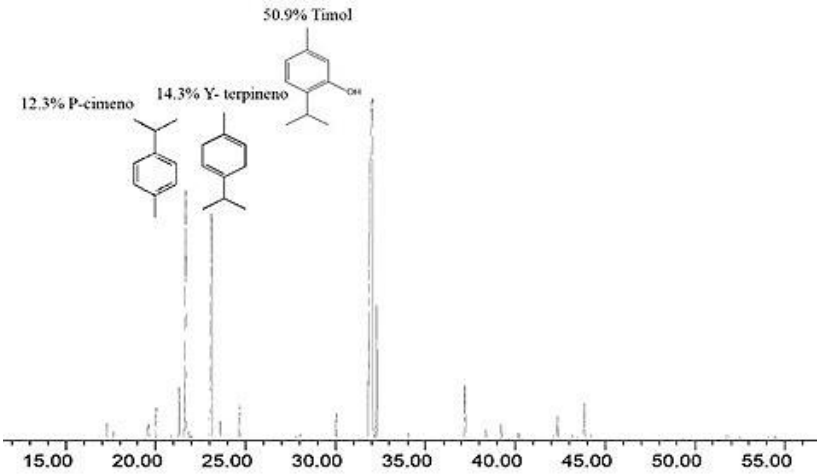
Tabla 3. Identificación presuntiva y cantidad relativa (%) de los componentes presentes el aceite esencial de tomillo.

t_R, min	Compuesto Identificado
21.31	α-Terpineno
21.68	*p*-Cimeno
23.11	*γ*-Terpineno
31.56	Timol
32.30	Carvacrol
37.20	*trans*-β-Cariofileno
---	Fracción correspondiente a hidrocarburos isoméricos en el rango de $C_6 - C_{25}$
---	Otros

Fuente: Autores con base en resultados del CENIVAM –UIS.



Gráfica 1. Perfil cromatográfico del aceite esencial de orégano por GC-MS en el modo *full scan.* **Fuente:** Autores con base em resultados del CENIVAM – UIS.



Gráfica 2. Perfil cromatográfico del aceite esencial de tomillo por GC-MS en el modo *full scan.* **Fuente:** Autores con base em resultados del CENIVAM – UIS.

3.2. Identificación y cultivo *in vitro:*

Pasados los siete días de crecimiento de la colonia pura, se realizó la observación y descripción macroscópica del hongo e identificación microscópica de las estructuras fungosas mediante las claves taxonómica tomadas por Tangarife C. Verónica (2016).
La descripción macroscópica de la colonia se identifica por tener un color blanco-rosa, algodonoso (Figura 1). La identificación microscópica del *Fusarium spp.* está constituido por un conjunto de hifas hialinas septadas y delgadas, abundantes macroconidias fusiformes y septadas (Figura 2).

Figura 1. Colonia de *Fusarium spp.*
Fuente: Autores.

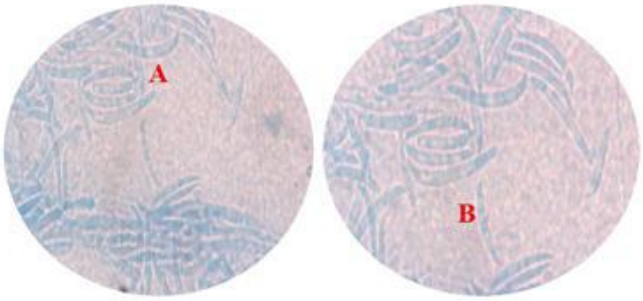


Figura 2. Estructuras fungosas *Fusarium spp.* 2A Hifas hialinas septadas - 2B Macroconidias fusiformes (Vista 100x).
Fuente: Autores.

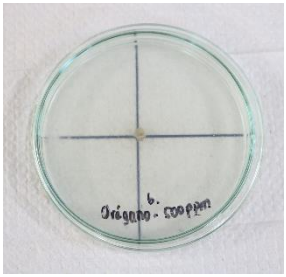
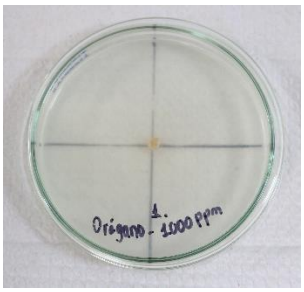
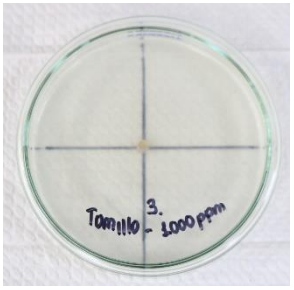
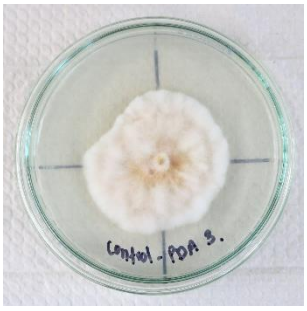
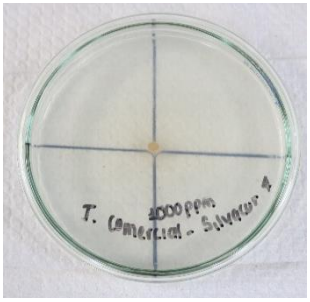
3.3. Porcentaje (%) de inhibición del crecimiento:

En la Tabla 4 se muestra la inhibición del crecimiento micelial *in vitro* de *Fusarium spp.* en las dos concentraciones de cada tratamiento, T. absoluto y T. comercial al finalizar las mediciones (séptimo día).

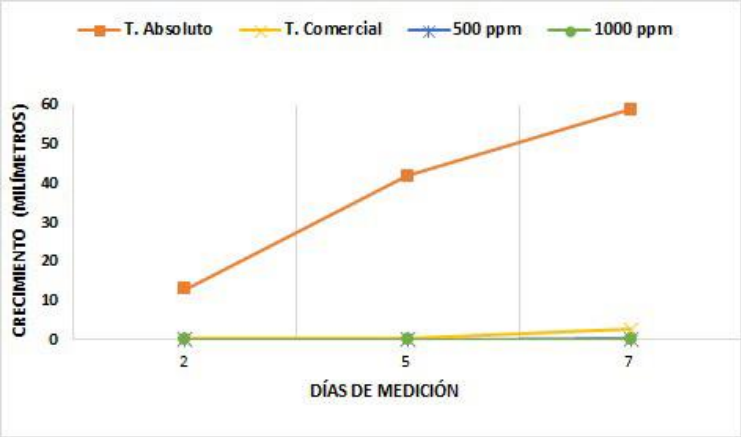
Se efectuaron mediciones de las pruebas por quintuplicado en sus diferentes concentraciones, 500 y 1000 ppm, a los dos, cinco y siete días para determinar el crecimiento de la colonia; en cada una de las mediciones se encontró un promedio para establecer la comparación con el testigo absoluto y el testigo comercial Silvacur®.
Seguidamente, se muestran las gráficas de crecimiento de *Fusarium spp.* para cada uno de los tratamientos usados frente al testigo absoluto y el testigo comercial.

En la Grafica 3, se observa el crecimiento micelial en el tratamiento con orégano en concentraciones de 500 y 1000 ppm y se contrasta con el testigo absoluto y el testigo comercial. La concentración 1000 ppm al finalizar las mediciones (séptimo día), mostró una diferencia en el crecimiento de 58.66 con el testigo absoluto y 2.66 mm con el testigo comercial, mientas que, para 500 ppm fue de 58.5 y 2.5 mm de diferencia frente al testigo absoluto y testigo comercial, respectivamente.

Tabla 4. Inhibición del crecimiento micelial *in vitro* de *Fusarium spp* en las dos concentraciones de cada tratamiento, T. absoluto y T. comercial al finalizar las mediciones (séptimo día).

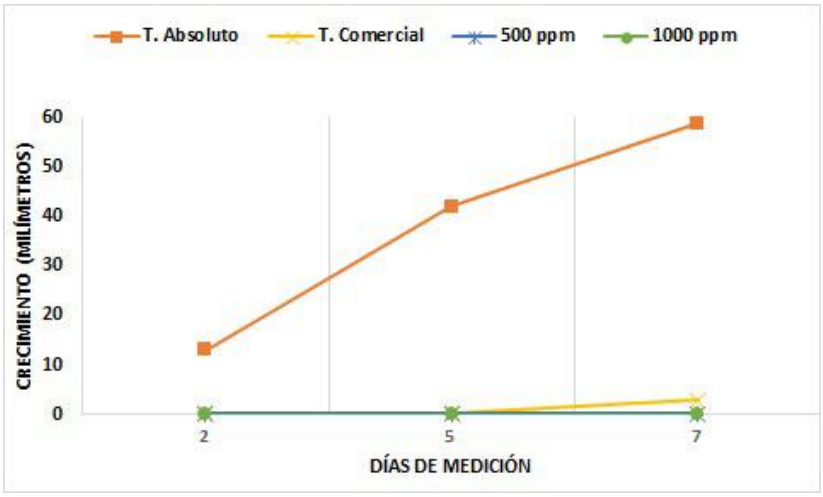
Tratamiento (AE)	**Concentración (ppm)**	
	500	**1000**
Orégano		
Tomillo		
T. Absoluto		
T. Comercial Silvacur®		

Fuente: Autores.



Gráfica 3. Comparación del crecimiento micelial *in vitro* de *Fusarium spp.* con AE de orégano a diferentes concentraciones frente al testigo absoluto y testigo comercial.
Fuente: Autores.

El tratamiento con AE tomillo en concentraciones de 500 y 1000 ppm reveló una diferencia importante en el crecimiento con 58.66 y 2.66 mm; 58.78 y 2.78 mm frente al testigo absoluto y testigo comercial, respectivamente (Gráfica 4) al finalizar las mediciones.



Gráfica 4. Comparación del crecimiento micelial *in vitro* de *Fusarium spp.* con AE de tomillo a diferentes concentraciones frente al testigo absoluto y testigo comercial.
Fuente: Autores.

De igual manera, se calculó el porcentaje (%) de inhibición del crecimiento para el tratamiento AE Orégano en las concentraciones de 500 y 1000 ppm mediante la ecuación (1), hallando valores de 99.49, y 99.76% respectivamente, en comparación con el testigo comercial Silvacur® con un valor de 95.24%.

También, se calculó el porcentaje (%) de inhibición del crecimiento para el tratamiento AE Tomillo en las concentraciones de 500 y 1000 ppm mediante la ecuación (1), hallando valores de 99.76, y 99.76% respectivamente, en comparación con el testigo comercial Silvacur® con un valor de 95.24%. Cuando el medio de cultivo fue combinado con AE orégano y tomillo a una concentración $\geq$500 ppm, se inhibió

completamente el crecimiento micelial del patógeno, entonces el inóculo de cada prueba en las concentraciones de 500 y 1000 ppm de los dos AE se trasladó a cajas petri con medio sin tratamiento y se incubó durante 7 días más, con el fin de evaluar el efecto fungicida o fungistático. Dado que al finalizar los sietes días no se observó ningún cambio en el crecimiento, se deduce que los tratamientos en las concentraciones señaladas tienen actividad fungicida sobre *Fusarium spp*.

DISCUSIÓN

Mediante la identificación presuntiva de la fracción liquida volátil de los aceites esenciales de orégano y tomillo se obtuvieron como componentes mayoritarios terpenos: γ- terpineno 14.3%, timol 50.9% y fenoles: globulol 11% y carvacrol 62.6%, de acuerdo con Rovetto *et al.* (2010), estos componentes han mostrado efectos en la inhibición de hongos fitopatógenos; también, presenta propiedades antitusígenos, antisépticas y antibacterianas. Característicamente, el AE de orégano presenta un 62,6% de carvacrol el cual tiene capacidad anti-fungicida contra *Cándida albicans, C. tropicalis, Torulopsis glabrata, Aspergillus Níger*, *Geotrichum* y *Rhodotorula, Fusarium;* pero no contra *Pseudomona aeruginosa;* Arcila Lozano *et al.* (2004).

El AE de orégano presentó un porcentaje de inhibición del 99,49 % a 500 ppm y 99,76% a 1000 ppm, mientras que (Villa Martínez, y otros, 2014), obtuvieron el 50% de inhibición al utilizar una concentración igual de 2 mg/mL, el cual equivale a 2000 ppm.
Por otra parte, la composición química volátil de los aceites esenciales por medio de GC-MS, permitió identificar la presencia de fenoles, éteres e hidrocarburos, los cuales presentan propiedades antisépticas, antimicrobianas, antifúngicas, irritantes, entre otras.
Los plaguicidas botánicos por ser procedentes de materiales naturales (plantas), habitualmente presentan poco o ningún riesgo para el ser humano o el ambiente; además, otras investigaciones han justificado que son eficaces en el control de enfermedades agrícolas, sin causar daños graves o aumentar la contaminación del medio ambiente.

Finalmente, se observó que *Fusarium spp.* presentó una inhibición mayor en los aceites esenciales de orégano y tomillo con mejores resultados en la concentración de 1000 ppm con un 99,76% en ambos AE; también, el fungicida sintético Silvacur® presenta una menor inhibición con un 95,24% en estas pruebas.

REFERENCIAS

Alzate, O., A., D., Mier, M., L., G., Afanador , K., Lucía, . . . M., C. (2009). EVALUACIÓN DE LA FITOTOXICIDAD Y LA ACTIVIDAD ANTIFÚNGICA CONTRA Colletotrichumacutatum DE LOS ACEITES ESENCIALES DE TOMILLO (Thymus vulgaris), LIMONCILLO (Cymbopogon citratus), Y SUS COMPONENTES MAYORITARIOS. *Vitae*, 116-125.

Arcila Lozano, C., Loarca Piña, G., Lecona Uribe , S., & González de Mejía, E. (2004). El orégano: propiedades, composición y actividad biológica de sus componentes. *ResearchGate*.

Buechel, T. (5 de octubre de 2018). *PRO-MIX*. Obtenido de Perfil de las enfermedades radiculares: Fusarium: https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/perfil-de-las-enfermedades-radiculares-fusarium/

Chica L., J., Tirado O., Y., & Barreto O., J. (2016). Indicadores de competitividad del cultivo del arroz en Colombia y Estados Unidos. *REVISTA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS*, 16-31.

DIARIO DEL HUILA. (27 de Mayo de 2017). *FONDO LATINOAMERICANO PARA ARROZ DE RIEGO.* Obtenido de COLOMBIA- EN ARROZ, EL HUILA ES UN DEPARTAMENTO ESTABLE EN PRODUCCIÓN: FEDEARROZ: http://flar.org/colombia-en-arroz-el-huila-es-un-departamento-estable-en-produccion-fedearroz/

FINAGRO. (2017). *Fondo para el financiamiento del sector agropecuario* . Obtenido de Huila en camino a potencia arrocera nacional : https://www.finagro.com.co/noticias/huila-en-camino-potencia-arrocera-nacional

Google Earth. (2018). *Coordenadas de la recolección del material vegetal.*

Rovetto , G., Moreno, N., Bolívar , V., Calvo, S., Suárez, G., Justiniano, C., . . . Caballero , O. (2010). APLICACIONES MEDICINALES DEL TOMILLO. *UCEBOL*, 16-20.

Sztejnberg, A., Freeman, S., Chet, I., & Katan, J. (1987). Control of Rosellinia necatrix in Soil and in Apple Orchard by Solarization and Trichoderma harzianum. *Plant Disease*, 365-369.

Tangarife C., V. (30 de Abirl de 2016). *Escuela de Microbiología - Universidad de Antioquia.* Obtenido de Fusarium spp.: http://aprendeenlinea.udea.edu.co/lms/moodle/mod/page/view.php?id=100813

Tapia , C., & Amaro, J. (2014). Género Fusarium. *Revista Chilena Infectol*, 85-86.

Tejera, B., Heydrich, M., & Rojas, M. M. (2012). Antagonismo de Bacillus spp. frente a hongos fitopatógenos del cultivo. *Protección Veg., 27*(2), 117-122.

Villa Martínez, A., Pérez Leal, R., Morales Morales, H. A., Basurto Sotelo, M., Soto Parra, J. M., & Martínez Escudero, E. (2014). Situación actual en el control de Fusarium spp. y evaluación de la actividad antifúngica de extractos vegetales . *Acta Agronómica*, 194-205.

Ciencia e Ingeniería
Revista Interdisciplinar de Estudios en Ciencias Básicas e Ingenierías.
Año 2018, Enero-Junio, Vol. (5) N° (1), pp. 12-23. ISSN 2389-9484.
Universidad de La Guajira, Facultades de Ciencias Básicas y Aplicadas e Ingeniería.
La Guajira-Colombia.
Revista en Línea http://revistas.uniguajira.edu.co/index.php/cei

ECOLOGÍA Y APLICACIONES DE METABOLITOS SECUNDARIOS DE LOS GÉNEROS Dictyota, Padina Y Sargassum (PHAEOPHYTA)

ECOLOGY AND APPLICATION OF SECONDARY METABOLITES OF THE GENERA Dictyota, Padina AND Sargassum (PHAEOPHYTA)

Maira Alejandra Montes Lozano & Johana Paola Zuñiga Pichón

1. Programa de Biología, Facultad de Ciencias Básicas y Aplicadas, Universidad de La Guajira, Colombia.
johazpn@gmail.com

Recibido: Octubre 17 de 2017 Aceptado: Enero 20 de 2018

RESUMEN

Las macroalgas pertenecientes a la división Phaeophyta presentan una gran importancia ecológica por ser partícipes en la estructuración de los ecosistemas, principalmente por la producción de metabolitos secundarios que pueden controlar su consumo por parte de herbívoros e incluso afectar otras especies de macroalgas competidoras con las que puedan cohabitar. La producción de este tipo de metabolitos ha sido la base tecnológica del ser humano en ámbitos como la medicina, alimentación y cosmética, aunque se han estudiado otros usos potenciales. Dentro de las macroalgas pardas, los géneros Dictyota, Padina y Sargassum son los más ricos en especies dentro del océano Atlántico occidental y mar Caribe, al igual que sus especies son unas de las más usadas por el ser humano. El presente trabajo es una revisión bibliográfica de la ecología, y aplicación actual o potencial de los metabolitos secundarios de estos géneros de Phaeophyta, con un enfoque que va desde la producción y efectos de estos en el medio natural, hasta los usos que se les ha dado y las investigaciones para su potencial aplicación biotecnológica e industrial.

Palabras clave: Macroalgas pardas, alelopatía, productos naturales, biotecnología algal.

ABSTRACT

Tha macroalgae belongs to division Phaeophyta presents an important ecological feature for being participants on the ecosystemic structuration, mainly by the secondary metabolites production that can control their consumption by the herbivores even affect other competitor macroalgae species with whom they cohabit. Production of this metabolites are the technological base of the human being in areas as medicine, food and cosmetic, even though other potential uses have been studied. Inside the brown macroalgae the genera Dictyota, Padina and Sargassum are the most richness in species inside the Atlantic Ocean and Caribbean Sea, just like they are some of the most used by the human being. The present work is a bibliographical review about the ecology and actual or potential application of secondary metabolites in this genera of Phaeophyta, with a focus that goes from the production and effects of they in the environment, until the uses that have been given and the research for its potential application in biotechnology and industry.

Key words: Brown macroalgae, allelopathy, natural products, algal biotechnology

1. INTRODUCCIÓN

Las Phaeophyta corresponden a un amplio grupo de algas marinas con una gran importancia ecológica, ya que estructuran el hábitat al que se encuentran asociadas, sobre todo en ecosistemas rocosos y someros de aguas templadas (Mansilla & Alveal 2013). Presentan los pigmentos clorofila a y c, así como beta-caroteno, por lo que su coloración varía de amarillo pardo a pardo oscuro, además que producen una gran cantidad de mucus protector (Meretta *et al*. 2012). Estas algas producen metabolitos secundarios, cuya clasificación química aborda principalmente terpenoides, polifenoles y acetogeninas, los cuales desempeñan variadas funciones ecológicas; destacando los diterpenos como los más comunes en este grupo de macroalgas (López Sánchez 2017, Chasqui *et al*. 2013, La Barre *et al*. 2010).

Según los perfiles metabólicos, existen significativas diferencias bioquímicas entre las divisiones de algas pardas (Phaeophyta), rojas (Rhodophyta) y verdes (Chlorophyta), revelando su divergencia evolutiva, además del potencial de cada grupo para producir sustancias de interés económico (Belghit *et al*. 2017). Dentro de las Phaeophyta se destacan tres géneros por su amplia riqueza de especies en la región Atlántico occidental, *Dictyota*, *Padina* y *Sargassum*, las cuales registran al menos 20, 10 y 39 especies, respectivamente (Díaz Pulido & Díaz 2003); por lo cual, se convierten en las macroalgas pardas más comunes, incluso en el Caribe, destacando que dichos géneros se consideran unos de los mayores productores de biomasa en zonas tropicales y subtropicales (Moreira *et al*. 2011); más importante es el hecho de que casi un tercio de la química conocida de las Phaeophyta parte del género *Dictyota*, con una amplia riqueza de terpenos (Maschek & Baker 2008).

Ya que el metabolismo secundario de las macroalgas pardas se basa en una biosíntesis, transformación y degradación de compuestos endógenos, su diversidad química deriva en una amplia lista de metabolitos (Ortega Maldonado 2012), cuyo ordenamiento es considerado estrictamente químico (González García *et al*. 2013), además que son agrupados en la categoría de productos naturales (Maschek & Baker 2008) por las diversas aplicaciones que les confiere el ser humano. Por lo anterior, las algas pardas contienen metabolitos secundarios que pueden servir para su aprovechamiento en la industria, los cuales deben ser aprovechados de manera eficiente, para que este recurso pueda generar no solo alternativas de empleo, sino desarrollo científico y económico para el mundo, sobre todo en los países en vías de desarrollo, como los latinoamericanos y del Caribe.

Considerando lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue realizar una revisión de las fuentes bibliográficas disponibles acerca de los aspectos ecológicos más relevantes, además de los usos y potencialidades de tres géneros de macroalgas pardas (*Dictyota*, *Padina* y *Sargassum*) que se caracterizan por su riqueza de especies en el Caribe y Atlántico Occidental (Díaz Pulido & Díaz 2003), lo que proporcionaría una visión de su importancia natural dentro de los ecosistemas, así como también de su potencial como recurso económico con aplicaciones industriales.

2. QUÍMICA BÁSICA DE METABOLITOS SECUNDARIOS EN PHAEOPHYTA

Las algas marinas son capaces de producir una gran variedad de metabolitos secundarios; de hecho, se reportan más de 1140 compuestos de este tipo para las Phaeophyta (Maschek & Baker 2008), destacando los géneros *Dictyota*, *Padina* y *Sargassum* como unos de los más empleados en el aislamiento de este tipo de compuestos químicos, que pueden ser utilizados de forma beneficiosa, para el desarrollo de biofármacos con una amplia aplicación medicinal, ya que son una fuente de aminoácidos, terpenos, florotaninos, esteroides, compuestos fenólicos, cetonas, alcanos halogenados y polisulfuros cíclicos (Patra *et al*. 2010).

El género *Sargassum* (13 tipos de metabolitos) muestra una diversidad más amplia de metabolitos secundarios según su clasificación química, en comparación con *Dictyota* (8 tipos de metabolitos) y *Padina* (6 tipos de metabolitos) (Tabla 1); sin embargo, *Dictyota* cuenta con una riqueza de más de 250 terpenos, lo cual representa alrededor del 33% de los metabolitos conocidos para las algas pardas (Maschek & Baker 2008), destacando que cuenta con 233 diterpenos aislados hasta finales del año 2017 (Chen *et al*. 2018). Es importante mencionar, que los florotaninos (polifenoles) son estructuras químicas que se encuentran exclusivamente en las algas pardas (Maschek & Baker 2008).

3. ASPECTOS ECOLÓGICOS

3.1. CONDICIONES AMBIENTALES Y METABOLITOS SECUNDARIOS

En general, las algas marinas tienen una importancia significativa en los ecosistemas donde se encuentran, ya que cumplen una función ecológica fundamental equilibrando los niveles de oxígeno en el agua, por medio de la fotosíntesis y participando en las redes tróficas; de hecho, estas llegan a producir grandes ecosistemas como el mar de los Sargazos (*Sargassum*), el cual presenta elevada biomasa de esta macroalga (Franks *et al*. 2016). La producción de metabolitos secundarios en las macroalgas es dependiente de interacciones ecológicas entre el medio abiótico, los herbívoros, epibiontes y competidores, con implicaciones evolutivas entre todos ellos (Pereira & Da Gama 2008).

Los metabolitos secundarios producidos por las algas se consideran una respuesta a presiones ecológicas, que generan defensa química para disuadir a los organismos herbívoros, competencia por el espacio, atracción de gametos y fecundación; además de controlar el establecimiento y crecimiento de bacterias y otros organismos que alteran su entorno (Blunt *et al*. 2016, Lozano 2012). Las algas marinas, especialmente las que viven en sustratos rocosos, están sometidas a condiciones a veces extremas (cambios bruscos de salinidad, variación en la irradiación, periodos de emersión por efecto de mareas, oleaje y depredadores); aun así, dicho sustrato les brinda una serie de minerales y un sustrato para fijarse, que en parte les permite adaptarse rápidamente a las nuevas circunstancias, por lo que existen cambios metabólicos que pueden producir mayor cantidad de metabolitos secundarios (Amsler 2008).

Cada tipo de costa (rocosa, arenosa, entre otras) influye en la diversidad y morfología de macroalgas (Ayala & Martín 2011); sin embargo, estas suelen presentarse principalmente en sustratos duros, como la piedra caliza, donde les es más fácil fijarse y crecer en sus huecos y grietas. Otros sustratos utilizados por las macroalgas para fijarse son la grava o el coral muerto, como es el caso de algunas especies como *Padina minor* (Santhanam *et al*. 2018). Por otro lado, existen especies del género *Sargassum* que no se fijan a ningún sustrato y son consideradas pelágicas (Franks *et al*. 2016, Makkar *et al*. 2016). Esta heterogeneidad ambiental juega un papel importante en el crecimiento de las macroalgas en general, creando condiciones diferentes que generan en ellas respuestas fisiológicas distintas, lo que desde un punto de vista evolutivo y ecológico explica cómo diferentes especies presentan diferentes tipos de metabolitos (Belghit *et al*. 2017).

Las condiciones ambientales son determinantes en la composición química de las macroalgas. *Sargassum vulgare* evidenció cambios en los niveles de azucares, ácidos grasos, aminoácidos, antioxidantes y compuestos fenólicos, según las condiciones de acidificación del medio (pH), destacando que particularmente se registraron niveles más elevados de metabolitos secundarios en áreas más acidas (< pH), mientras que los aminoácidos fueron más elevados en los sitios menos acidificados (> pH), sugiriendo que existen cambios metabólicos en función a las condiciones abióticas (Kumar *et al*. 2018). Por otra parte, en el archipiélago de Cabrera en el mar Mediterráneo, los extractos de *Padina pavonica* y *Dictyota dichotoma* han mostrado mayores niveles de toxicidad ambiental (según análisis Microtox® que emplea la bacteria *Vibrio fisheri*), por efecto estacional o temporal, siendo más tóxicos en noviembre con respecto a junio, lo que podría ser explicado por cambios en la tasa de crecimiento y mayor tamaño de estas especies (Martí *et al*. 2004).

Los metabolitos secundarios se derivan principalmente de los azúcares que se producen por medio de la fotosíntesis, generando los terpenos, mientras que por medio de otra ruta metabólica (acetil-coenzima a) se generan los florotanninos y los policétidos (acetogenina), que son los compuestos secundarios más comunes en las Phaeophyta; específicamente, los diterpenos dominan los metabolitos secundarios encontrados en el género *Dictyota*, destacando dyctiol, amijiol y dictyoxetano, entre una amplia variedad (Maschek & Baker 2008); mientras que *Sargassum* es rica en florotaninos (Li *et al*. 2017) y *Padina* presenta una gran variedad de compuestos policétidos (fenólicos) (Sudha & Balasundaram 2018). Estas moléculas se encuentran involucradas en la adaptación del organismo al ambiente o condiciones en las que se encuentre (Rico *et al*. 2017).

3.2. DEFENSA Y COMPETENCIA

A través del tiempo, la evolución se ha encargado de modificar la estructura externa e interna de los organismos vivos con el fin de adaptarse a una gran variedad de ecosistemas, permitiendo definir y seleccionar diversas estrategias de supervivencia, que abordan la defensa, ataque y comunicación con otros organismos; explicado en parte, por la amplia variabilidad de hábitats que les ha permitido desarrollar diversas rutas metabólicas secundarias, que producen una gran cantidad de compuestos químicos inusuales para adaptarse a sus estilos de vida; de esta manera, desde los niveles más bajos de la cadena trófica, la ecología química se ha establecido como una necesidad

para explicar las funciones que desempeñan estos compuestos en la supervivencia y estructura ecológica dentro de los ecosistemas (Amsler 2008).

La defensa química puede ser un factor antinutricional, definido como aquellas sustancias generadas por el metabolismo natural de algunas especies de macroalgas y que, por diferentes mecanismos, ejercen efectos contrarios a la nutrición óptima en los organismos que las consumen, de ahí que ocurra una disminución del metabolismo digestivo en ellos (Calvacanti *et al*. 2011).

Por otro lado, la palatabilidad es un factor importante para el consumo de las macroalgas, también influenciado ambientalmente; por ejemplo, la especie *Sargassum yezoense*, aunque no mostró correlación entre la palatabilidad y la temperatura, si se observó directamente correlacionada con el enriquecimiento de nutrientes, igualmente encontrando una correlación positiva entre la concentración de nitrógeno de la macroalga y la tasa de consumo del erizo *Hemicetrotus pulcherrimusk* (Endo *et al*. 2015), lo que evidencia una dinámica entre el consumidor y la macroalga en función de cambios en la concentración de los compuestos químicos de esta última. Existe evidencia acerca de que la composición química de las macroalgas, puede afectar la ausencia o presencia de algunas especies de anfípodos herbívoros, por lo que estos se encuentran más asociados a ciertas especies de macroalgas, mientras que evitan o están ausentes en otras, destacando *Dictyota*, *Padina* y *Sargassum* como los géneros con mayor evidencia de inhibición de herbívoros; como se ha observado en *Dictyota menstrualis*, cuyos extractos han inhibido la actividad de anfípodos, que no suelen encontrarse asociados a esta especie, lo cual explica su ausencia en muestras de esta macroalga (Sotka & Whalen 2008).

Las algas marinas producen diferentes metabolitos secundarios con bioactividad específica (Dahms & Dobretsov 2017, Maschek & Baker 2008), cuya principal consecuencia es la defensa por alelopatía (inhibición química hacia otros organismos), lo que en la mayoría de los casos resulta favoreciendo las macroalgas que producen estos compuestos (Pereira & Da Gama 2008); no obstante, existe un tipo de defensa asociativo, que ocurre cuando una especie se protege del consumo por herbívoros mediante la asociación con otra especie a manera de refugio, tal es el caso de especies palatables como *Gracilaria tikvahiae* (Rhodophyta) que se asocian (como epibionte) con una no palatable como *Sargassum filipendula*, evitando así su consumo por parte del erizo de mar *Arbacia punctulata*; asimismo, se ha reportado un fenómeno similar, por la asociación entre *Sargassum* y *Dictyota* en el mar de Brasil, aunque *Sargassum* crece en las zona meso y sublitoral, algunas veces es colonizada por *Dictyota*, por lo que esta última es menormente consumida por el erizo *Lytechinus variegatus*, el cual consume en mayor medida a *Sargassum* (Pereira & Da Gama 2008).

Los efectos descritos anteriormente no se limitan a la defensa, sino que también derivan en la exclusión competitiva con otros organismos; de hecho, el consumo selectivo de macroalgas palatables por peces herbívoros, puede remover potenciales competidores y favorecer el establecimiento o proliferación de especies de macroalgas no palatables o con defensa química (Pereira & Da Gamba 2008).

En otro orden de ideas, las especies *Dictyota pulchella* y *Dictyota pinnatifida* inhiben el desarrollo larvario del coral *Porites astreoides*, afectando el reclutamiento de éste en los ecosistemas donde coexisten, por lo que estas macroalgas pueden ser dominantes en

arrecifes degradados por su efecto inhibitorio (alelopático), desplazando así al coral en la competencia por el espacio (Paul *et al*. 2011). Las interacciones bióticas de macroalgas no sólo incluyen defensa a la herbivoría y competencia, sino además relaciones predador-presa en varios niveles tróficos; lo que permite inferir que a lo largo de la evolución estos organismos han desarrollado características adaptativas propias, las cuales favorecen el crecimiento y desarrollo de toda la comunidad (Ibarra Basurto 2015).

La inhibición de epibiontes y competidores por acción de metabolitos secundarios de macroalgas, antes de la fase de fijación de estos, es considerado una fuerza selectiva con una intensidad equivalente a la defensa química ante la herbivoría (Pereira & Da Gamma 2008). La competencia por espacio es muy intensa en organismos bentónicos; algas pardas como *Fucus gardneri* son inhibidas por las propiedades toxicas de otras macroalgas verdes del género *Ulva*; sin embargo, algas pardas como *Pilayella littoralis* reduce la germinación de los cigotos de *Fucus vesiculosus*, evidenciando que una baja concentración de exudados de *P. littoralis* reduce la tasa de fijación de *F. vesiculosus* (Jormalainen & Honkanen 2008).

En base a la características defensivas y competitivas de los organismos, la búsqueda de moléculas con aplicación biomédica centra su atención en organismos blandos, de colores llamativos, y que sean sésiles o de movimientos lentos, lo que usualmente indica la presencia de sustancias químicas usadas como método de defensa contra sus depredadores o competidores, que presuponen la presencia de compuestos bioactivos (Gómez Luna 2017).

4. APLICACIONES Y POTENCIALIDADES

4.1. MEDICINA-SALUD

Las macroalgas marinas exhiben una variedad de moléculas con características estructurales y químicas únicas; es decir, dichas moléculas son únicas de este tipo de organismos y contienen un alto potencial de aprovechamiento en múltiples industrias (Máximo *et al*. 2018). En los últimos años, los productos naturales de origen marino han adquirido mayor relevancia en el sector farmacéutico, debido al descubrimiento de nuevos agentes terapéuticos, para combatir múltiples enfermedades que afectan al ser humano (Morales *et al*. 2014).

Las propiedades farmacológicas y médicas de los extractos de especies marinas hacen de éstas una fuente potencial de fármacos y un campo abierto a la investigación en la farmacognosia (Moreira *et al*. 2011), para mediante el aislamiento e identificación de compuestos bioactivos poder producir medicamentos. En una amplia revisión de literatura acerca de productos naturales marinos publicados durante el año 2017, en la sección de algas pardas se mencionan cinco especies, de las cuales dos son pertenecientes al género *Sargassum* (*S. wightii* y *S. thunbergii*) y una al género *Padina* (*P. boergesenii*) (Carroll *et al*. 2019), lo que pone en perspectiva el potencial de estos géneros como fuente de compuestos de uso medicinal, así como son cada vez más comunes los reportes de nuevos fármacos a partir de los mismos.

Desde hace varias décadas, las algas han sido reconocidas como una de las fuentes más ricas de nuevos compuestos bioactivos, descubriéndose en algunos casos estructuras moleculares únicas que manifiestan actividad antibacteriana, anticancerígena, cardiotónica, antiviral, antitumoral, antiinflamatoria, anticoagulante, entre otras (Blunt *et al.* 2016); de hecho, se siguen descubriendo nuevos compuestos, como el ácido padinólico (triterpeno), aislado a partir de *P. boergesenii*, el cual mostró entre una baja y moderada inhibición de enzimas como la α-glucosidasa y ureasa, respectivamente, así como moderada actividad de peroxidación antilipídica, que pueden emplearse como tratamiento contra la diabetes por medio del bloqueo o reducción de la absorción de glucosa por medio de la inhibición de enzimas como la α-glucosidasa (Ali *et al*. 2017). Por otra parte, los extractos acuosos de *P. minor* han presentado actividad antioxidante y gastroprotectora (Santhanam *et al*. 2018).

En *Sargassum carpophyllum* se han aislado metabolitos como el fucosterol y 24-etilcolesta-4, con actividad citotóxica para varios tipos de cáncer (mama, leucemia, hueso y próstata), destacando que varias de las especies de este género presentan una diversidad de metabolitos secundarios con amplios efectos medicinales antiinflamatorios (quinonas de *S. sagamium*), antioxidantes (quinonas de *S. elegans*), antidepresivos y anticonvulsivos (fucosterol de *S. fusiforme*), entre otros (Máximo *et al*., 2018; Pramitha & Sree Kumari 2016). Asimismo, se han aislado los compuestos indol-2-carboxialdehido e indol-5-carboxiladehido a partir de *S. thunbergii*, mostrando actividad inhibitoria de la adipogénesis, lo que los convierte en compuestos candidatos para combatir la obesidad (Kang *et al*. 2017). Se ha reportado que los extractos de *Sargassum muticum* presentan actividad contra el cáncer de seno, correlacionándose directamente ésta con el contenido de polifenoles, además de presentar actividad antimicrobiana contra bacterias como *Shigella fleshneri*, *Micrococcus* sp. y *Salmonella paratyphi* B (Santhanam *et al*. 2018, Namvar *et al*. 2013).

Por otra parte, los extractos de *Dictyota pfaffi* han mostrado inhibición a la actividad hemolítica del veneno de la oruga *Lonomia obliqua*, por lo que esta macroalga puede emplearse para el desarrollo de antídotos contra este tipo de veneno (Domingos *et al*. 2009), aunque no se encontró en la literatura el aislamiento de los compuestos bioactivos que provocan dicho efecto inhibitorio.

4.2. ALIMENTACIÓN

En general, las algas pardas son ricas en minerales, presentan cantidades bajas a moderadas de proteínas, y algunas especies se han empleado como alimento para humanos, ya sea de manera directa o indirecta, en vista de que han sido usadas en la alimentación de ganado (rumiantes); principalmente, el género *Sargassum* se aprovecha como alimento por su amplia distribución mundial, ya que este puede ser encontrado en zonas templadas, subtropicales y tropicales. Algunas especies como *S. muticum* pueden formar láminas de hasta 16 metros de largo; otras especies como *S. fusiforme* y *S. thunbergii* son de consumo humano, incluso bajo cultivo en países asiáticos (Carroll *et al*. 2019, Makkar *et al*. 2016).

Las algas pardas por su alto contenido de carbohidratos, metabolitos bioactivos con diversas funciones farmacológicas, además de alginas, carrageninas y agar (ampliamente usadas para estabilizar alimentos), las convierte en un recurso importante

para ser empleado como alimento funcional, destacando el género *Sargassum* como de alto valor a este respecto (Freitas *et al*. 2012).

Por otra parte, se reporta el consumo como alimento humano de las especies *Sargassum fluitans*, *Sargassum natans*, *Sargassum polycarpum*, *S. vulgare*, *Dictyota ciliolata*, *Dictyota stolonifera*, *Padina crispata* y *Padina durvillei* (Santhanam *et al*. 2018). Por esta razón, se destaca que en general las macroalgas pardas pueden contener altas concentraciones de elementos peligrosos como metales pesados, así como son ricas en yodo, lo cual puede causar envenenamiento por periodos prolongados de consumo; de hecho, *S. fusiforme* ha presentado altas concentraciones de arsénico, lo cual ha sido señalado por autoridades competentes en materia de alimentación de la comunidad europea (Makkar *et al*. 2016).

4.3. COSMÉTICA

Desde el punto de vista cosmético, se ha sugerido el uso de *P. pavonica*, ya que sus extractos presentan actividad que inhibe la enzima hialuronidasa, la cual degrada el ácido hialurónico y está asociada con el envejecimiento de la piel; sin embargo, aún queda por aislar e identificar las moléculas activas que definen esta acción (Fayad *et al*. 2017). Otra especie con potencial uso en esta y otra área es *Padina gymnospora*, cuya extracción de nanopartículas metálicas (oro, plata y platino) puede ser empleada en la elaboración de productos como champú, jabones y detergentes, como es usual en el desarrollo de los mismos (Singh *et al*. 2013).

Por su parte, los géneros *Sargassum* y *Dictyota* no presentan este tipo de usos actualmente, aunque varias especies (*S. muticum*, *S. vulgare*, *D. fascida*, *D. implexa* y *D. ciliolata*,) presentan actividad antioxidante (Pereira 2015), la cual es una característica importante en el área cosmética (Bueno Ariede *et al*. 2017).

4.4. BIOCOMBUSTIBLES

Las algas verdes, rojas y pardas producen etanol por fermentación; aunque, son estas últimas las sugeridas como materia prima para producción de bioetanol por su mayor contenido de carbohidratos, así como también su amplia facilidad para ser cultivadas en masa; no obstante, las macroalgas muestran un uso potencial para este tipo de uso, mas no se encuentran actualmente explotadas con dicho fin (Milledge *et al*. 2014).

Se ha evidenciado que varias especies del género *Sargassum* presentan un potencial como materia prima para la producción de bioetanol (Borines *et al*. 2013), así como también la especie *Padina tetrastromatica* presenta un alto potencial tanto para la producción de bioetanol como también de biodiesel (Ashokkumar *et al*. 2017); del mismo modo, se destaca el género *Dictyota*, ya que es el que contiene mayor cantidad de lípidos, con una variación de 71-202 mg/g de peso seco del alga, lo cual es un factor importante en la materia prima para la producción de biodiesel comercial (Suutari *et al*. 2015).

4.5. OTROS USOS

Aunque se sugiere el uso potencial de *S. muticum* como fertilizante, por su alto contenido de nitrógeno, fósforo, potasio y mineral (Milledge *et al*. 2016), otras macroalgas son empleadas actualmente con este fin como *D. dichotoma*, cuyos extractos se emplean como fertilizante líquido (Pereira 2015). Por su parte, los extractos enriquecidos con polisacáridos de *P. gymnospora* promueven la germinación y estimulan el crecimiento de semillas de tomate y soya verde, por lo que puede ser una fuente algal de bajo costo, para ser empleada en la agricultura orgánica de estas plantas (Hernández-Herrera *et al*. 2016).

La especie *S. muticum* presenta otros usos potenciales como insecticida, contra organismos incrustantes y para el tratamiento de aguas servidas, lo que refleja los posibles usos que se les puede dar a las macroalgas en general. Igualmente *D. dichotoma* presenta propiedades larvicidas (mosquitos) (Pereira 2015), que le confieren un potencial uso como insecticida. También se han estudiados los extractos de *S. wightii* y *P. pavonica* como insecticidas, específicamente sobre el hemíptero *Dysdercus cingulatus* (considerado una plaga para los cultivos de algodón), ya que mostraron un efecto mortal en las ninfas como también en los huevos del insecto, por lo que se sugiere su uso para el manejo de cultivos (Asharaja & Sahayaraj 2013, Sahayaraj & Kalidas 2011). Por otra parte, extractos de *Dictyota bartayresiana* presentan una elevada actividad antilarval contra el díptero *Culex quinquefasciatus*, el cual es un mosquito considerado vector de enfermedades a nivel tropical y subtropical, por lo cual se propone como agente de control contra este vector de enfermedades como la malaria (Alias *et al*. 2015).

5. CONCLUSIONES

Esta revisión demuestra que los géneros *Dictyota*, *Padina* y *Sargassum* producen una variedad de metabolitos secundarios de diferente naturaleza química (principalmente terpenos), que les ofrecen funciones ecológicas asociadas principalmente a la supervivencia de las mismas dentro de sus entornos; además la bioactividad de estos compuestos les confiere un uso por parte del ser humano, que aborda áreas como la medicina y alimentación, aunque con potencialidad para otras como los biocombustibles. El género más representativo es *Dictyota*, por su riqueza de metabolitos secundarios bajo la clasificación química de terpenoides. Aun cuando existen reportes sobre el aislamiento e identificación de los metabolitos secundarios y su bioactividad, existe un vacío sobre los compuestos que confieren la bioacción particular observada cuando se emplean extractos de estas macroalgas, lo que sin duda es un objetivo que se alcanzará con el desarrollo de este tipo de estudios a futuro.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ali L., A. Khan, M. Al-Broumi, R. Al-Harrasi, L. Al-Kharusi, J. Hussain & A. Al-Harrasi. 2017. New Enzyme-Inhibitory Triterpenoid from Marine Macro Brown Alga *Padina boergesenii* Allender & Kraft. *Marine drugs*, 15: 1–8. https://doi.org/10.3390/md15010019.

Alias J., K. Velayutham, N. Mani, S. Thangaiah & R. Irullappan. 2015. Antibacterial, cytotoxic and larvicidal potential of *Dictyota bartayresiana* Lamour. *Journal of Coastal Life Medicine* 3: 352–355. https://doi.org/10.12980/JCLM.3.2015JCLM-2014-0092

Amsler C. D. 2008. *Algal chemical ecology*. Springer, Germany, 313 pp.

Asharaja A. & K. Sahayaraj. 2013. Screening of insecticidal activity of brown macroalgal extracts against *Dysdercus cingulatus* (Fab.) (Hemiptera: Pyrrhocoridae). *Journal of Biopesticides*, 6: 193–203.

Ashokkumar V., M. R. Salim, Z. Salam, P. Sivakumar, C. T. Chong, S. Elumalai, V. Suresh & F. N. Ani. 2017. Production of liquid biofuels (biodiesel and bioethanol) from brown marine macroalgae *Padina tetrastromatica*. *Energy conversion and management*, 135: 351–361.

Ayala Y. & A. Martín. 2011. Relaciones entre la comunidad de anfípodos y las macroalgas a las que están asociados, en una plataforma rocosa del litoral central de Venezuela. Boletín. *Instituto Español de Oceanografía*, 19: 171–182.

Belghit I., J. D. Rasinger, S. Heesch, I. Biancarosa, N. Liland, B. Torstensen, R. Waagbø, E.-J. Lock & C. G. Bruckner. 2017. In-depth metabolic profiling of marine macroalgae confirms strong biochemical differences between brown, red and green algae. *Algal Research*, 26: 240–249. https://doi.org/10.1016/j.algal.2017.08.001

Bianco É. M., V. Laneuville Teixeira & R. Crespo Pereira. 2010. Chemical defenses of the tropical marine seaweed *Canistrocarpus cervicornis* against herbivory by sea urchin. *Brazilian Journal of Oceanography*, 58: 213–218. https://doi.org/10.1590/S1679-87592010000300004.

Blunt J., B. Coop, M. Munro, P. Northcothe & M. Prinsep. 2016. Marine natural product. *Journal of Naural Products*, 23: 26–78.

Borines M. G., R. L. de León & J. L. Cuello. 2013. Bioethanol production from the macroalgae *Sargassum* spp. *Bioresource technology*, 138: 22–29.

Bueno Ariede M., T. Marcílio Candido, A. L. Morocho Jacome, M. V. Robles Velasco, J. C. de Carvalho & A. Rolim Baby. 2017. Cosmetic attributes of algae-A review. *Algal research*, 25: 483–487.

Calvacanti D., M. Vasconcelos, A. Pinto, C. Morales, R. Crespo & V. Laneuville. 2011. Effects of storage and solvent type in a lipophylic chemical profile of the seaweed *Dictyota menstrualis*. *Brazilian journal of Oceanography*, 56: 51–57.

Carroll A. R., B. A. Copp, R. A. Davis, R. R. Keyzers & M. Prinsep. 2019. Marine natural products. *Natural Product Reports*, 36: 122–173. https://doi.org/10.1039/C8NP00092A.

Chasqui L., N. Ramón, A. Rodríguez-Rincón, D. Gil-Agudelo. 2013. Ambientes marinos de la plataforma somera de la Guajira, Caribe Colombiano. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras INVEMAR*, 42: 401–412.

Chen J., H. Li, Z. Zhao, X. Xia, B. Li, J. Zhang & X. Yan. 2018. Diterpenes from the marine algae of the genus *Dictyota*. *Marine drugs*, 16: 1–25. https://doi.org/10.3390/md16050159

Dahms H. & S. Dobretsov. 2017. Antifouling compounds from marine macroalgae. *Marine drugs*, 15: 1–16.

Díaz Pulido G. & M. Díaz. 2003. Diversity of benthic marine algae of the Colombian Atlantic. *Biota colombiana*, 42: 203–246.

Domingos T. F., C. Carvalho, L. de A. Moura, V. L. Teixeira, R. C. Pereira, É. Bianco, W. J. Ferreira, C. J. Ramos, A. L. de Miranda, P. A. Melo, J. A. Guimarães & A. L. Fuly. 2009. Antilonomic effects of Brazilian brown seaweed extracts. *Natural Product Communications*, 4: 1075–1078.

Endo H., K. Suehiro, J. Kinoshita & Y. Agatsuma. 2015. Combined Effects of Temperature and Nutrient Enrichment on Palatability of the Brown Alga *Sargassum yezoense* (Yamada) Yoshida & T. Konno. *American Journal of Plant Sciences*, 6: 275–282. https://doi.org/10.4236/ajps.2015.62031.

Fayad S., R. Nehmé, M. Tannoury, E. Lesellier, C. Pichon & P. Morin. 2017. Macroalga *Padina pavonica* water extracts obtained by pressurized liquid extraction and microwave-assisted extraction inhibit hyaluronidase activity as shown by capillary electrophoresis. *Journal of Chromatography A*, 1497: 19–27. https://doi.org/10.1016/j.chroma.2017.03.033.

Franks J. S., D. R. Johnson & D.S. Ko. 2016. Pelagic *Sargassum* in the Tropical North Atlantic. *Gulf and Caribbean Research*, 27: SC6-SC11. https://doi.org/10.18785/gcr.2701.08

Freitas A. C., D. Rodrígues, T. A. Rocha-Santos, A. M. Gomes & A. C. Duarte. 2012. Marine biotechnology advances towards applications in new functional foods. *Biotechnology Advances*, 30: 1506–1515. https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2012.03.006.

González Giro Z., M. Fuentes Reyes, P. Batista Corbal, A. Campos Castro & Y. Vera Pérez. 2015. Análisis fitoquímico preliminar de dos extractos del alga *Padina gymnospora*. *Biotecnia*, 17: 26–29. https://doi.org/10.18633/bt.v17i2.176

Gómez Luna L. 2017. Microalgas: Aspectos ecológicos y biotecnológicos. *Revista Cubana de Química*, 19: 3–20.

González García Y., M. Contreras, J. Carlos, O. Gonzales & J. Cordova. 2013. Síntesis y biodegradación de polihidroxialcanoatos: plásticos de origen microbiano. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 29: 77–115.

Hernández-Herrera R.M., F. Santacruz-Ruvalcaba, J. Zañudo-Hernández & G. Hernández-Carmona. 2016. Activity of seaweed extracts and polysaccharide-enriched extracts from *Ulva lactuca* and *Padina gymnospora* as growth promoters of tomato and mung bean plants. *Journal of Applied Phycology*, 28: 2549–2560. https://doi.org/10.1007/s10811-015-0781-4.

Ibarra Basurto A. 2015. Variabilidad temporal en la estructura y composición de la macrofauna bentónica en playa Atenas, Pisco. Tesis de Ingeniería, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima.

Jormalainen V. & T. Honkanen. 2008. Macroalgal chemical defenses and their roles in structuring temperate marine communities, pp. 57–89. En: Amsler C. D. (Ed). *Algal Chemical Ecology*. Springer, Germany.

Kang M.-C., Y. Ding, E.-A. Kim, Y. K. Choi, T. De Araujo, S.-J. Heo & S.-H. Lee. 2017. Indole derivatives isolated from brown alga *Sargassum thunbergii* inhibit adipogenesis through AMPK activation in 3T3-L1 preadipocytes. *Marine drugs*, 15: 1–10. https://doi.org/10.3390/md15040119.

Kumar A., H. AbdElgawad, I. Castellano, S. Selim, G. T. Beemster, H. Asard, M. C. Buia & A. Palumbo. 2018. Effects of ocean acidification on the levels of primary and secondary metabolites in the brown macroalga *Sargassum vulgare* at different time scales. *Science of the Total Environment*, 643: 946–956.

La Barre S., P. Potin, C. Leblanc & L. Delage. 2010. The halogenated metabolism of brown algae (Phaeophyta), its biological importance and its environmental significance. *Marine drugs*, 8: 988–1010.

Li Y., X. Fu, D. Duan, X. Liu, J. Xu & X. Gao. 2017. Extraction and Identification of Phlorotannins from the Brown Alga, *Sargassum fusiforme* (Harvey) Setchell. *Marine Drugs*, 15: 1-15 https://doi.org/10.3390/md15020049.

López Sánchez C. 2017. Macrofauna vágil asociada a *Sargassum* spp., su abundancia y diversidad de marzo-julio de 2007 en el área del Caribe colombiano. Tesis de licenciatura, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Bogotá.

Lozano R. 2012. ¿Qué tan secundarios son los metabolitos secundarios? *Hidrobiológica*, 1: 45–57.

Makkar H.P., G. Tran, V. Heuzé, S. Giger-Reverdin, M. Lessire, F. Lebas & P. Ankers. 2016. Seaweeds for livestock diets: A review. *Animal Feed Science and Technology*, 212: 1–17. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.09.018

Mansilla A. & K. Alveal. 2013. Capítulo 16: Generalidades sobre las Macroalgas, pp. 349-362. En: C. Werlinger (Ed.), *Biología Marina y Oceanografía: conceptos y procesos*, Trama Impresores S. A, Concepción.

Martí R., M. Uriz & X. Turon. 2004. Seasonal and spatial variation of species toxicity in Mediterranean seaweed communities: correlation to biotic and abiotic factors. *Marine Ecology Progress Series*, 282: 73–85. https://doi.org/10.3354/meps282073

Maschek J.A. & B.J. Baker. 2008. The chemistry of algal secondary metabolism, pp. 1–24. En: C.D. Amsler (Ed.). *Algal Chemical Ecology*. Springer, Germany.

Máximo P., L. Ferreira, P. Branco, P. Lima & A. Lourenço. 2018. Secondary metabolites and biological activity of invasive macroalgae of Southern Europe. *Marine drugs*, 16: 1-28.

Meretta P., C. Matula & G. Casas. 2012. Occurrence of the alien kelp *Undaria pinnatifida* (Laminariales, Phaeophyceae) in Mar del Plata, Argentina. *BioInvasions Records*, 1: 59–63.

Milledge J., B. Smith, P. Dyer & P. Harvey. 2014. Macroalgae-derived biofuel: a review of methods of energy extraction from seaweed biomass. *Energies*, 7: 7194–7222.

Milledge J. J., B.V. Nielsen & D. Bailey. 2016. High-value products from macroalgae: the potential uses of the invasive brown seaweed, *Sargassum muticum*. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 15: 67–88.

Morales M., P. Nunja, L. Burga, S. Justo, J. Ávila & A. Guerra. 2014. Actividad antimicrobiana del extracto acetona-agua de *Macrocystis pyrifera* (C. Agardh 1820) en bacterias de importancia clínica. *Revista de Ciencias*, 10: 109–118.

Moreira L., R. Cabrera & A.M. Suárez. 2011. Evaluación de la biomasa de macroalgas marinas del género *Sargassum* C. Agardh (Phaeophyta, Fucales). *Revista de Investigaciones Marinas*, 27: 115–120.

Murillo Álvarez J. I., M. Muñoz, A. Marín, B. Ánguas, M. Olguín, P. E. Pardo, E. S. Castro, M. A. Vergara, L. Gómez & A. Rodríguez Cuautle. 2012. Informe Técnico Parcial (ene-dic/2011) del Proyecto (SIP 20111014) Estudio del Potencial de Aplicación Biomédica y Ambiental de Algas del Género Sargassum y Enteromorpha Colectadas en el Golfo de California (Técnico Parcial). Disponible en http://www.sappi.ipn.mx/cgpi/archivos_anexo/20111014_10138.pdf [Consultado 10 noviembre 2018].

Namvar F., R. Mohamad, J. Baharara, S. Zafar-Balanejad, F. Fargahi, H. S. Rahman. 2013. Antioxidant, antiproliferative, and antiangiogenesis effects of polyphenol-rich seaweed (*Sargassum muticum*). *BioMed Research International*, 2013: 1–9. https://doi.org/10.1155/2013/604787.

Ortega Maldonado L. 2012. Producción de silimarina en cultivos celulares de Cardo mariano (*Silybum marianum*): efecto de distintos elicitores. Tesis de Maestría, Universidad de Salamanca, Salamanca.

Patra J., A. Mahapatra, H. Thatoi, S. Das, R. Sahu & G. Swain. 2010. Antimicrobial activity of organic solvent extracts of three marine macroalgae from Chilika Lake, Orissa. India. *Malaysian Journal of Microbiology*, 5: 128–131.

Paul V., I. Kuffner, L. Walters, R. Ritson-Williams, K. Beach & M. Becerro. 2011. Chemically mediated interactions between macroalgae *Dictyota* spp. and multiple life-history stages of the coral *Porites astreoides*. *Marine Ecology Progress Series*, 426: 161–170. https://doi.org/10.3354/meps09032.

Pereira L. 2015. Seaweed flora of the European Nort Atlantic and Mediterranean, pp: 65-178. In: Kim S. (Ed.). *Handbook of Marine Biotechnology*. Springer. Heidelberg.

Pereira R.C. & B.A. Da Gama. 2008. Macroalgal chemical defenses and their roles in structuring tropical marine communities, pp. 25–55. En: Amsler C. D. (Ed). *Algal Chemical Ecology*. Springer, Germany.

Pramitha V.S. & N. Sree Kumari. 2016. Anti-inflammatory, anti-oxidant, phytochemical and gc-ms analysis of marine brown macroalga, *Sargassum wighti*. *International Journal of Pharmaceutical, Chemical & Biological Sciences* 6: 7–15.

Rico M., A.G. González, M. Santana-Casiano, M. González-Dávila, N. Pérez-Almeida & M.S. de Tangil. 2017. Production of Primary and Secondary Metabolites Using Algae, pp. 311–326. En: Nath Tripathi, B. & D. Kumar (Eds.), *Prospects and Challenges in Algal Biotechnology*. Springer. Singapore.

Sahayaraj K. & S. Kalidas, S. 2011. Evaluation of nymphicidal and ovicidal effect of a seaweed, *Padina pavonica* (Linn.) (Phaeophyceae) on cotton pest, *Dysdercus cingulatus* (Fab.). *Indian Journal of Geo-Marine Sciences*, 40: 125–129.

Santhanam R., S. Ramesh & H.A.R. Suleria. 2018. *Biology and Ecology of Pharmaceutical Marine Plants*. CRC Press, Boca Raton, Florida. 471 pp.

Singh M., R. Kalaivani, S. Manikandan, N. Sangeetha & A. K. Kumaraguru. 2013. Facile green synthesis of variable metallic gold nanoparticle using *Padina gymnospora*, a brown marine macroalga. *Applied Nanoscience*, 3: 145–151. https://doi.org/10.1007/s13204-012-0115-7.

Sotka E.E. & K. Whalen. 2008. Herbivore Offense in the Sea: The Detoxification and Transport of Secondary Metabolites, pp. 203–228. En: Amsler C.D. (Ed.), *Algal Chemistry*. Springer, Germany.

Sudha, G. & A. Balasundaram. 2018. Analysis of bioactive compounds in *Padina pavonica* using HPLC, UV-VIS and FTIR techniques. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry,* 7: 3192–3195.

Suutari, M., E. Leskinen, K. Fagerstedt, J. Kuparinen, P. Kuuppo & J. Blomster. 2015. Macroalgae in biofuel production. *Phycological research*, 63: 1–18.

Ciencia e Ingeniería
Revista Interdisciplinar de Estudios en Ciencias Básicas e Ingenierías.
Año 2018, Enero-Junio, Vol. (5) N° (1), pp. 24-42. ISSN 2389-9484.
Universidad de La Guajira, Facultades de Ciencias Básicas y Aplicadas e Ingeniería.
La Guajira-Colombia.
Revista en Línea http://revistas.uniguajira.edu.co/index.php/cei

EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD FUNGICIDA DEL LIMONCILLO (*Cymbopogon citratus*) EN EL TOMATE (*Lycopersicum esculentum) in vitro*

EVALUATION OF THE FUNGICIDE ACTIVITY OF LEMONGRASS (*Cymbopogon citratus*) IN THE TOMATO (*Lycopersicum esculentum*) *in vitro*

William Andrés Flórez Bermúdez[1] & Hans T. Castro Salazar[2]

1. Estudiante de Ingeniería Ambiental, Corporación Universitaria del Huila-CORHUILA, Grupo de Aplicación e Investigación Ambiental-GAIA. waflorez@corhuila.edu.co
2. Químico, Ph. D, Docente, Corporación Universitaria del Huila-CORHUILA, Grupo de Aplicación e Investigación Ambiental-GAIA. hans.castro@corhuila.edu.co

Recibido: Junio 15 de 2017 Aceptado: Noviembre 19 de 2017

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación consistió en evaluar in vitro la efectividad inhibitoria del aceite esencial (AE) de hojas de *Cymbopogon citratus* en el *Fusarium oxysporum* presente en el tomate (*Lycopersicum esculentum*). El trabajo se llevó a cabo en el Laboratorio de Investigación en Química Ambiental ubicado en la Corporación Universitaria del Huila- CORHUILA, en el municipio de Neiva (Huila). Se inició con la extracción de AE de hojas de *C. citratus*, empleando el método de hidrodestilación con arrastre de vapor, luego de la extracción, se envió la muestra de AE al laboratorio de la UIS, en donde se caracterizó su composición química por cromatografía de gases acoplado a espectrometría de masa, luego se calculó el rendimiento del AE, obteniendo un 0,5 %. Posteriormente, se recolectó las muestras de hojas, fruto y tallo con rasgos de contaminación para ser incubadas durante siete días en cajas de Petri con medio de cultivo, hasta obtener una cepa de hongo pura, aislada la cepa, fueron comparadas de manera microscópicas aplicando el atlas de micología de Saldarriaga y algunas claves taxonómicas, logrando identificar al *F. oxysporum*. La actividad fungicida se analizó mediante la siembra directa en superficie de agar papa dextrosa en concentraciones de 1000, 1500 y 2000 ppm con cinco repeticiones, además de emplear dos muestras de testigo absoluto y dos de testigo comercial, durante siete días. Los resultados fueron favorables puesto que las tres concentraciones observaron un porcentaje fúngico del 100 %, esto puede ser debido al citral (mezcla entre dos estereoisómeros, genarial 48,2 % y neral 34,9 %). Razón por la cual, se puede asegurar que el AE de *C. citratus* podría ser una solución viable ante los problemas de este hongo fitopatógeno.

Palabras claves: fúngicida, *Cymbopogon citratus*, *Fusarium oxysporum*, incubar y *Lycopersicum esculentum.*

ABSTRACT

The objective of the present investigation consisted in evaluating in vitro the inhibitory effectiveness of the essential oil (AE) of leaves of *Cymbopogon citratus* in the *Fusarium oxysporum* present in tomato (*Lycopersicum esculentum*). The work was carried out in the Research Laboratory in Environmental Chemistry located in the University Corporation of Huila-CORHUILA, in the municipality of Neiva (Huila). It began with the extraction of AE from leaves of *C. citratus*, using the method of hydrodistillation with steam drag, after the extraction the sample of AE was sent to the laboratory of the UIS, where it was characterized by gas chromatography coupled to mass spectrometry, then the performance of the AE was calculated, obtaining 0,5 %.

Subsequently, the leaf samples were collected, fruit and stem with contamination traits were collected to be incubated for seven days in Petri dishes with culture medium, until obtaining a strain of pure fungus, isolated the strain, were compared in a microscopic way by applying the atlas Mycology of Saldarriaga and some taxonomic keys, managing to identify *F. oxysporum*.

The fungicidal activity was analyzed by direct seeding on the surface of potato dextrose agar in concentrations of 1000, 1500 and 2000 ppm with five repetitions, besides using two samples of absolute control and two samples of commercial control, during seven days. The results were favorable since the three concentrations observed a fungicidal percentage of 100 %, this may be due to citral (mixture between two stereoisomers, genarial 48.2 % and neral 34.9 %). Reason why, it can be assured that the AE of *C. citratus* could be a viable solution to the problems of this phytopathogenic fungi.

Keywords: fungicidal, *Cymbopogon citratus*, *Fusarium oxysporum*, incubate y *Lycopersicum esculentum.*

1. INTRODUCCIÓN

Colombia ocupa el segundo lugar en biodiversidad y se encuentra entre las doce naciones más megadiversas del planeta, debido a estar situados en una zona tropical, tiende a albergar un ambiente óptimo para el desarrollo de diversas especies. Hasta el momento 54.871 registradas (COLCIENCIAS, 2016), compartiendo con Brasil el primer lugar en biodiversidad y el segundo en diversidad de plantas, respecto a este último, el país tiene un estimado de 27.881 especies, más del 10 % de todas las que se conocen a nivel mundial, usadas comúnmente para fines medicinales muy diversos (Bernal, García, & Quevedo, 2011).

Por lo tanto, es importante hacer uso de la gran biodiversidad vegetal que se tiene, fortaleciendo las investigaciones en algunas de estas especies vegetales que poseen aceites esenciales con principios activos interesantes, ya que poseen metabolitos secundarios, los cuales están compuestos por una mezcla compleja de terpenoides, principalmente, monoterpenos (C10), sesquiterpenos (C15) y una variedad de fenoles aromáticos, óxidos, éteres, alcoholes, ésteres, aldehídos y cetonas que determinan el aroma y el color característico de las plantas (Betts, 2001).

La presencia de los monoterpenos volátiles o aceites esenciales en las plantas constituyen una importante estrategia de defensa contra animales herbívoros y sobretodo en plagas de insectos y hongos patógenos (Bakkali, Averbeck, Averbeck, & Idaomar, 2008).

De acuerdo con la información del párrafo anterior, los aceites esenciales se destacan por estar al alcance y contener múltiples posibilidades de aplicación en la agricultura, contrarrestando microorganismos que afectan cultivos de gran relevancia económica y de seguridad alimentaria.

Razón por la cual, en la presente investigación, fue preciso analizar la actividad fungicida del aceite esencial del limoncillo (*Cymbopogon citratus*), contra el *Fusarium oxysporum*, patógeno que por ser habitante del suelo, es difícil de controlar y causa pérdidas entre el 21 % y 47 % en cultivos de libre exposición y bajo cubierta (Ramyabharathi, Meena, & Raguchander, 2012) y (Enespa & SK.Dwivedi, 2014), al momento de atacar ocasiona “mal del talluelo”, lo cual consiste en la carencia de lignina en el tallo, haciendo susceptible la planta para el patógeno y así alcanzar rápidamente los vasos del xilema, causando la destrucción y el colapso del tejido en las plantas del cultivo de tomate de mesa (Agrios, 2005).

El tomate de mesa (*Lycopersicun esculentum*), es una de las hortalizas de mayor consumo, comercialización e industrialización a nivel mundial, su producción para el año 2015 fue de 170 millones de toneladas y Colombia tuvo un aporte de 646.904 toneladas (Horto, 2017).

Destacando los anteriores datos, se quiso buscar la manera de remover o inactivar el efecto dañino del *F. oxysporum* presente en el tomate, además de buscar la reducción de pesticidas como Panzer, Glifosato, Manzate, Furadan, matel paration entre otras, que a pesar de estar restringido su uso, se continúan circulando en el país ocasionando graves efectos a la salud de los seres vivos (Varona et al., 2009).

En consecuencia, por esta actividad, la secretaria de salud de Antioquia, ha informado que el contacto con estas sustancias pone en peligro la vida de plantas, animales y personas que deben ser atendidas en un tiempo menor de 24 horas; además de resaltar que las intoxicaciones se dan de manera paulatina y estás desencadenan graves enfermedades genéticas y degenerativas, principalmente por estar en ciertas proporciones en los alimentos (Morales, 2016).

Tal como lo demostró la investigación de (García, Rodríguez, Restrepo, & Sánchez, 2017), donde se recolectaron muestras de tomate en depósitos de granos y la mayoría presentaron trazas de 4,4'-DDT, endosulfán y metoxicloro, plaguicidas que a pesar de estar restringidos y/o prohibidos en Colombia se continúan aplicando.

Por tal motivo, se estructuró el trabajo de investigación estableciendo como objetivo general, evaluar la efectividad del limoncillo *Cymbopogon citratus* contra el *Fusarium oxysporum* presente en el tomate *Lycopersicum esculentum*. Por medio de tres objetivos específicos que consistieron en: caracterizar la composición química del aceite esencial obtenido del limoncillo *Cymbopogon citratus,* cultivar cepas puras del hongo *Fusarium oxysporum* aisladas en el tomate de mesa (*Lycopersicum esculentum*), por último, analizar las pruebas de inhibición del aceite esencial del *Cymbopogon citratus* contra el *Fusarium oxysporum* presente el tomate (*Lycopersicum esculentum*).

Con base en los resultados obtenidos durante la investigación, se pudo evaluar la actividad fungici que tienen los compuestos inmersos en el *Cymbopogon citratus* contra el *Fusarium oxysporum*, contribuyendo a la posibilidad de obtener una nueva estrategia agrícola para atacar este patógeno y así aportar en el desarrollo de una agricultura sostenible, no solo durante la cosecha sino también en la pos-cosecha.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. RECOLECCIÓN DEL MATERIAL VEGETAL

Se recolectaron las hojas de limoncillo (*Cymbopogon citratus*), en el barrio La Gaitana del municipio de Neiva (Huila), el material vegetal fue cortado para luego ser introducido en un recipiente de poliestireno expandido y preservarse a 25 °C (Granados, Yáñez, & Santafé, 2012).

2.2. PROCESAMIENTO DEL MATERIAL VEGETAL

En una báscula calibrada se pesaron 200 g de material vegetal que posteriormente se lavaron con agua y seguida de esta limpieza el material se trozó con unas tijeras de tal manera que puedan ingresar en el orificio del balón.

2.3. OBTENCIÓN DEL ACEITE ESENCIAL

La obtención se llevó a cabo por medio del método de hidrodestilación por arrastre de vapor, donde se emplearon los siguientes materiales: un balón con capacidad de 2000

mL, un condensador, una trampa Clevenger, una motobomba, unas pinzas de agarre, una plancha, el material vegetal procesado y 800 mL de agua destilada.

En el balón se introdujeron los 200 g del material vegetal procesado y los 800 mL de agua destilada, de esta manera se unieron las demás piezas formando el recipiente Dean-Stark (Figura 1) y así se inició el proceso de hidrodestilación por arrastre de vapor, durante 3 horas.

La obtención del aceite esencial se observó en la trampa de Clevenger por densidad y su extracción se realizó por medio de una pipeta. Luego el AE extraído fue conservado en un tubo de ensayo previamente esterilizado, como se ilustra en la Figura 2. Finalmente se adicionó 5 mg de sulfato de sodio anhidro (Na_2SO_4) por cada mililitro de aceite esencial, almacenándolo a una temperatura de 10 °C.

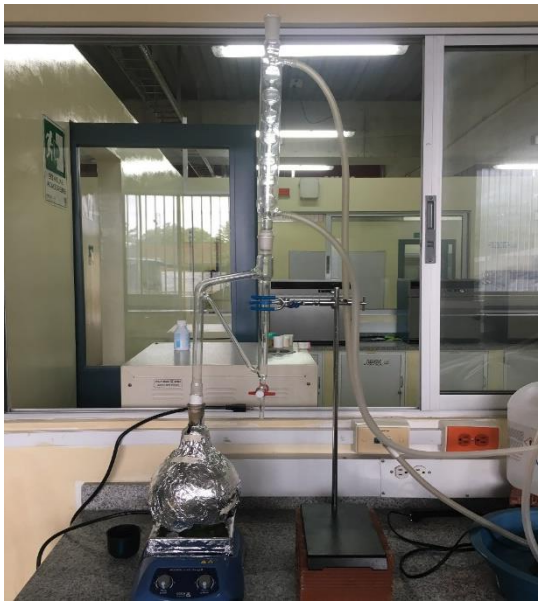


Figura 1 Equipo Dean-Stark

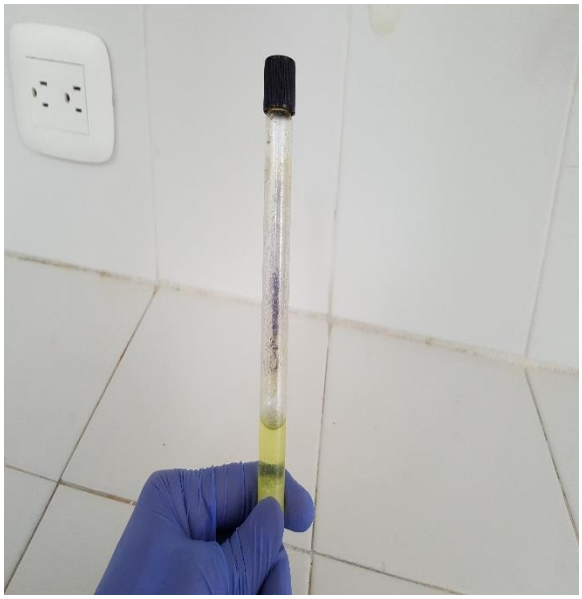


Figura 2 Aceite extraído de *Cymbopogon citratus*

2.3.1. CALCULAR EL RENDIMIENTO DEL ACEITE ESENCIAL

Para determinar el rendimiento del aceite esencial se aplicó la siguiente fórmula:

$$R = \frac{V}{M} * 100 = \%$$

Donde R: rendimiento %, V: volumen del aceite esencial en mL y M: masa del material vegetal (g), de acuerdo a esta operación matemática se realizó el cálculo del rendimiento del AE del *C. citratus* (Pino, Sánchez, Rojas, Abreu, & Correa, 2012).

2.4. CARACTERIZACIÓN DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL AE DE *C. CITRATUS*

Extraído el aceite esencial del limoncillo, se procedió a alistar una muestra de 1 mL, en un tubo de ensayo sellado con cinta dentro de una cava de poliestireno expandido,

agregándole dos bolsas de gel térmico para preservar la muestra durante el recorrido al Centro Nacional de Investigaciones para la Agroindustrialización de Especies Vegetales Aromáticas y Medicinales Tropicales-CENIVAM de la Universidad Industrial de Santander en la ciudad de Bucaramanga.

De este modo se logró determinar la composición química, en este laboratorio se empleó la metodología de Cromatografía de Gases Acoplada a Espectrometría de Masas (GC-MS), (corriente iónica total reconstruida, normalización simple, identificación presuntiva en columna APOLAR, DB-5MS (60 m); (EI, 70eV) usando las bases de datos de Adams,Wiley y NITS, de las muestras que posteriormente se analizaron por GM-MS operado en el modo de barrido completo de radiofrecuencia (*full scan*) (Universidad Industrial de Santander, 2018).

2.5. COLECTA Y PROCESAMIENTO DEL MATERIAL VEGETAL

Se seleccionó una planta de tomate de mesa del municipio de Campoalegre (Huila), la cual presentaba síntomas de pudrición en sus hojas, tallo y fruto. Como se observa en la Figura 3, su aparente estado fitosanitario no era el mejor, además, la planta no tenía ningún tipo de aplicación de productos sintéticos.

3A **3B**

3C **3D**

Figura 3 Planta de tomate con aparente estado de afectación
3A. Tallo afectado, **3B**. Planta marchitada, **3C**. Fruto afectado, **3D**. Hojas afectadas
Fuente: Autores

El material recolectado se guardó en bolsas de plástico debidamente selladas para ser ingresadas al Laboratorio de Química de la Corporación Universitaria del Huila-CORHUILA del bloque B, donde se lavaron con agua potable y se ingresaron en tres recipientes de plástico, se rotularon y se aseguraron para que las estructuras no se dañaran.

La técnica utilizada se denomina cámara húmeda, la cual sirvió para estimular el crecimiento del hongo presente en los signos de afectación (hojas, tallo o fruto) por un período de 24 horas, según la metodología del laboratorio del grupo de investigación establecido por Castro & Figueroa (2015).

2.6. PREPARACIÓN DEL PDA

El medio de cultivo se preparó con agua destilada esterilizada y de acuerdo con las recomendaciones establecidas por el fabricante, 39 g de PDA OXOID equivalen a 1 L de agar. El proceso se efectúo en 20 cajas de Petri. De acuerdo con la regla de tres, se empleó 15.6 g de agar con 400 mL de agua, para llenar la totalidad de las cajas requeridas.

Se calentaron los 400 mL de agua en un erlenmeyer, por medio de la plancha hasta alcanzar los 60 °C que registró el termómetro. Luego se logró agregar los 15.6 g del medio de cultivo PDA OXOID. Después se añadió por medio de una jeringa, seis gotas de antibiótico Amoxicilina con el propósito de evitar el crecimiento de bacterias o microorganismos indeseados. El procedimiento se describe en la Figura 4.

Finalmente, se añadió el medio de cultivo a las 20 cajas de Petri, ingresándolas a la autoclave hasta alcanzar los 120 °C y 15 libras de presión durante 25 minutos. Dejándolas enfriar durante 30 minutos para facilitar su manipulación.

4A

4B

4C

4D

4A

4B

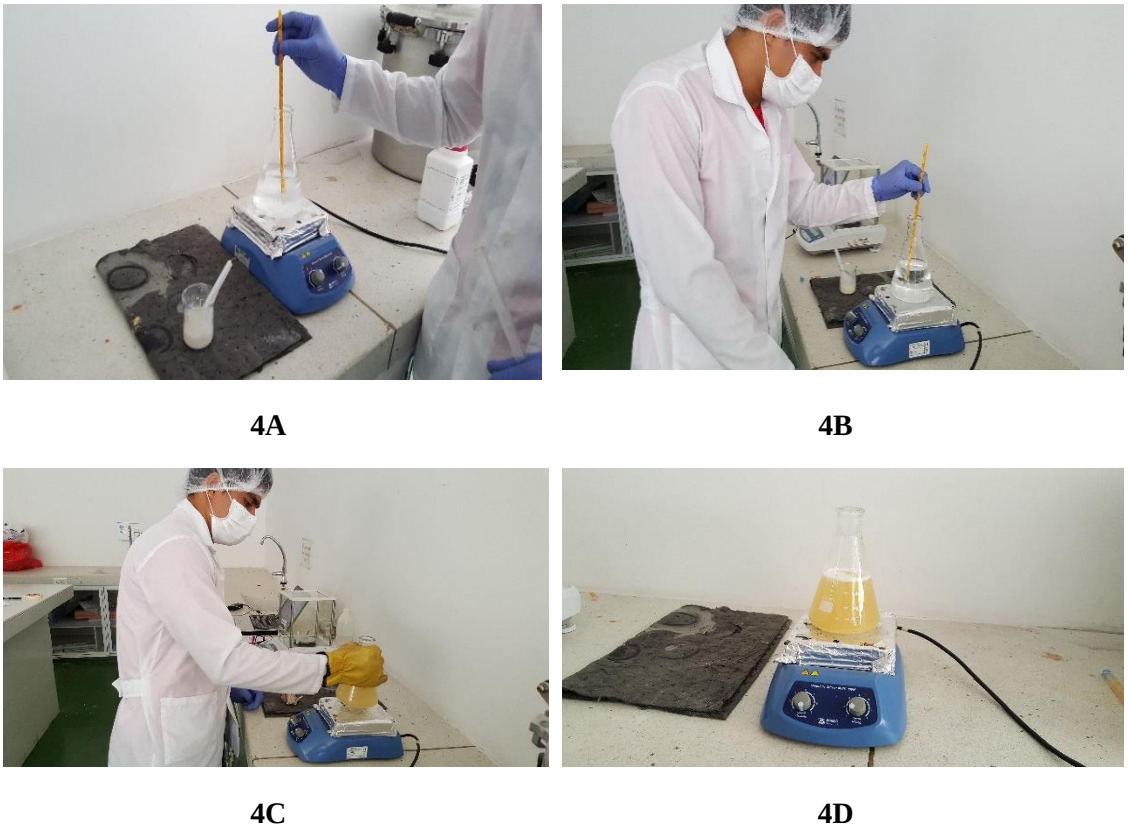
4C

4D

Figura 4 Preparación del medio de cultivo

4A. Toma de temperatura, **4B**. Medio de cultivo agregado, **4C**. Agitación, **4D**. Medio de cultivo listo

Fuente: autores.



4A **4B**

4C **4D**

Figura 5 Preparación del medio de cultivo

4A. Toma de temperatura, **4B**. Medio de cultivo agregado, **4C**. Agitación, **4D**. Medio de cultivo listo

Fuente: autores.

2.7. CULTIVO DEL HONGO *FUSARIUM OXYSPORUM*

Se realizó el cultivo de los hongos fitopatógenos presente en la planta de tomate de mesa (*Lycopersicum esculentum*) del municipio de Campoalegre, de una manera aséptica en la cámara de flujo laminar del Laboratorio de Investigación en Química situado en la Corporación Universitaria del Huila-CORHUILA. La cámara se limpió con hipoclorito al 5 %, utilizando elementos de protección como guantes de nitrilo, tapabocas, gorro quirúrgico y bata.

Con las concentraciones adecuadas de nutrientes se lleva a cabo el cultivo, implementando cortes redondos de 5 mm de diámetro aproximadamente, desinfectado cada uno con hipoclorito de sodio al 3 % por dos minutos y enjuagado con agua por un minuto, de acuerdo a la metodología del protocolo de laboratorio establecido por Castro & Figueroa (2015).

Posteriormente, la muestra previamente cortada, se puso en contacto con el medio de cultivo Agar Papa Dextrosa (PDA OXOID) en el centro de una caja de Petri, estás cajas se sellaron con papel película y se etiquetaron para ser incubadas a 26 °C y 90 % de

humedad relativa de acuerdo con la metodología de Pérez, Sánchez, Rojas, Abreu, & Correa (2011).

2.8. ASILAMIENTO DEL PATÓGENO

La purificación de los organismos fúngicos presentes en la planta de tomate seleccionada, se realizó después de ocho días de crecimiento micelial en el Laboratorio de Investigación en Química de la Corporación Universitaria del Huila-CORHUILA, con los hongos se realizaron trasferencias continuas a nuevas cajas de Petri con medio de cultivo, hasta obtener una colonia pura.

2.9. CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DEL *F. OXYSPORUM*

Las características correspondientes al microorganismo aislado, se determinaron mediante comparaciones visuales y microscópicas de las principales características morfológicas (pigmentación del cultivo, tamaño, forma y numero de septos de micro y macroconidias) revisando el atlas de micología de Saldarriaga (2010), con el objetivo de tener el género identificado y luego identificar la especie que se aisló.

Por consiguiente, fue necesario revisar las claves taxonómicas de Booth (1977), Singh (1991), López (2003) y Leslie & Summerell (2006), hasta tener la mayor certeza de la especie. Como se realizó en la investigación de Lezcano, Martinez, & Alonso (2012) con este género.

Por otro lado, se aplicó la tasa de crecimiento micelial (cm/dia); se evaluó por medio del logaritmo matemático descrito en la metodología de Meed, Hudson, & Hinton (1993).

$$TC = \frac{(Cf - Ci)}{(Tf - Ti)}$$

Donde, TC: tasa de crecimiento, Cf, crecimiento final, Ci, crecimiento inicial, Tf, tiempo final y Ti, tiempo inicial.

La metodología propuesta por Castaño (1998) se implementó para la medición y caracterización de las micro y macroconidias, realizando montajes en láminas portaobjetos con dos gotas de lactofenol al 0,05 % y aceite de inmersión, observando en el microscopio previamente calibrado y compuesto de luz, con el objetivo 40X las dimensiones de las estructuras fúngicas.

2.10. DISEÑO EXPERIMENTAL

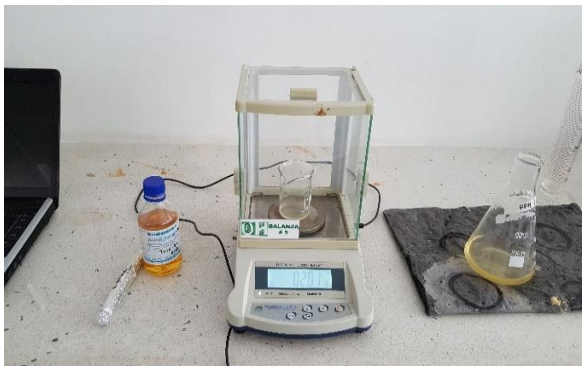
Se aplicó un diseño irrestrictamente al azar (D.I.A.) con arreglo factorial, en este caso, dos factores. El factor A, corresponde al tratamiento con Silvacur aplicado con la mayor concentración y dos de testigo absoluto. El factor B, hace relación a tres concentraciones evaluadas de 1000, 1500 y 2000 ppm. La unidad experimental consistió en una caja de Petri con cinco repeticiones para un total de 19 muestras incubadas.

2.11. EVALUACIÓN *IN VITRO* DE LA ACTIVIDAD FUNGICIDA DEL C. CITRATUS

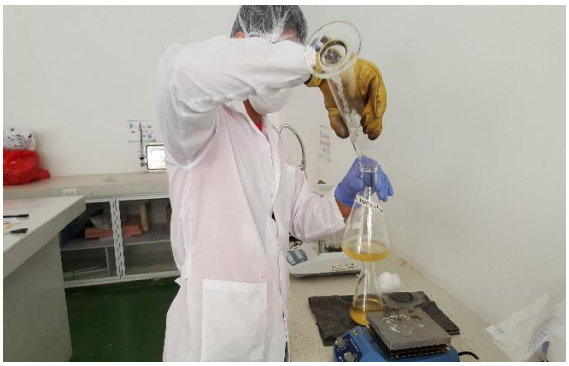
La a prueba de actividad inhibitoria del aceite esencial de limoncillo (*Cymbopogon citratus*) se llevó a cabo contra el *Fusarium oxysporum* presente en el tomate (*Lycopersicum esculentum*) previamente identificado por medio de algunas claves taxonómicas y el atlas de micología de Saldarriaga.

Se inició la evaluación con la preparación de los dos factores, adicionándole en cada caja de Petri, tres gotas de tenso activo, con el objetivo de lograr homogeneidad en la disolución. Como se observa en la Figura 5.

Adicionados los valores correspondientes de cada concentración del aceite esencial en la superficie sembrada del hongo aislado disuelto con el medio de cultivo y el tenso activo. Se llevaron a incubación con una temperatura de 30 °C durante siete días. Como se muestra en la Figura 6. Los tratamientos no tuvieron intervalos de luz y manipulaciones externas considerables, simplemente cuando fueron tomadas las medidas.



5A



5B

5C

5D

Figura 6 Proceso de inhibición
5A. Concentración calibrada de 1000 ppm, **5B**. Adición del medio de cultivo a los 1000 ppm, **5C**. Los tratamientos esterilizados, **5D**. Siembra con tratamientos
Fuente: autores.

Figura 7 Tratamientos de esterilización de las muestras en la incubadora

Finalmente, la actividad fungicida del aceite esencial se evaluó midiendo el crecimiento radial en los días 3, 5 y 7 en cada caja de Petri con el hongo aislado. Aplicando la siguiente ecuación matemática que define el porcentaje de índice antifúngico de la investigación realizada por Guo *et al*. (2008).

$$I.A.\% = \left(1 - \frac{Da}{Db} * 100\right)$$

Donde, I.A, índice antifúngico, D_a corresponde al crecimiento de cada tratamiento y D_b al crecimiento del testigo absoluto.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del porcentaje de rendimiento del AE de *C. citratus*, obtenidos durante el proceso de extracción fueron de 0,5 %, indicando según el estudio de Joulain (1996) una posible explotación comercial, debido a que el porcentaje es superior a 0,1 % que es el valor mínimo de rendimiento.

Las variaciones en el porcentaje de rendimiento de Saleem, Afza, Anwar, Hai, & Ali (2003) quienes obtuvieron 0,58 %, principalmente se debe a la toma hojas frescas, siendo esta investigación resaltada, ya que se trabajó con tres especies del género *citrus*, las cuales tuvieron distintos rendimientos: 0.58 % (*C. citratus*), 0.35 % (*C. paradisi*), 0.2 8% (*C. recticulata*) y 0.21 % (*C. aurantifolia*).

Otro resultado comparativo fue el de Linares, Gonzalez, Usubillaga, & Darghan (2005) quienes mostraron un rendimiento de 0,82 %, dato similar al obtenido por Cuéllar & Yunus (2009), realizado en Uganda con el *Cymbopogon citratus*, obteniendo un rendimiento del 0.64 % de aceite esencial ambos en hojas frescas.

De igual manera se compararon los resultados de la investigación realizada por Ríos (2010), el cual tuvo un rendimiento de 1,06 % de AE del limoncillo; además del trabajo investigativo de Mendoza & Taborda (2010), los cuales obtuvieron un 1,22 % de rendimiento de aceite esencial de *C. citratus*.

Según estos resultados similares en la mayoría de los trabajos investigativos, se concuerda con lo dicho por Weiss (1997); Maiti, Raju, Geetha & Mandal (2006)

quienes informaron que el contenido de aceite de un corte normal debería promediar entre 0.25 y 0.50 %, pero con un buen manejo y cepas seleccionadas se podrían producir hasta 0.66 a 0.90 %.

Con respecto al análisis de la composición química del AE *Cymbopogon citratus* realizado por medio de cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas, resultados expuestos en la Figura 7 del perfil cromatográfico, se logró identificar dieciocho componentes que representan el 99.9 % de los componentes presentes en el aceite esencial. Los constituyentes del AE se presentan en la tabla 1, los componentes se enumeran en un tiempo de retención por minutos.

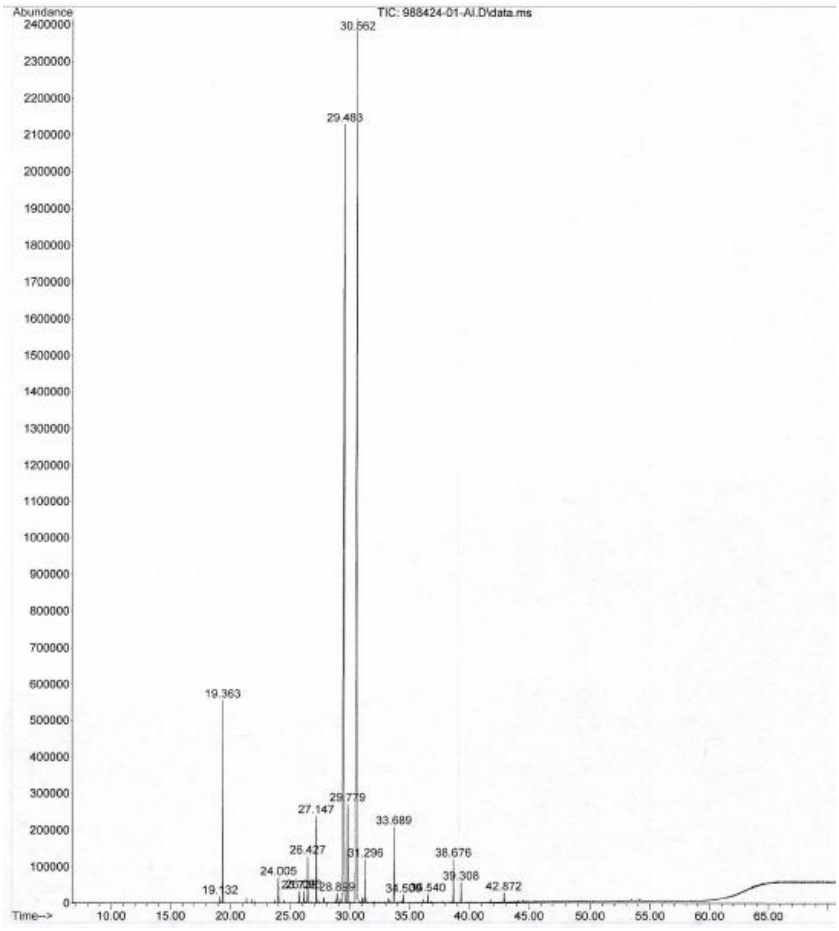


Figura 7 perfil cromatográfico de AE *Cymbopogon citratus*

Los componentes mayoritarios identificados fueron los monoterpenos genarial 48,2 % y neral con 34,9 %. Siendo estos datos similares con los reportes de la literatura científica de Saleem *et al.* (2003) en el que obtuvieron en citral *a* 40,8 % y citral *b* 32 % los constituyentes más comunes en las especies analizadas del género *Citratus* (*aurantifolia, paradise y reticulate*).

En relación con la anterior información, también se tuvo en cuenta las similitudes del estudio científico realizado por Linares *et al.* (2005) quienes obtuvieron en la identificación por cromatografía y espectros de masas del AE de *C. citratus*, los monoterpenos de genarial 43,16 % y neral 34,35 %, en su aplicación para la fertilización de tierras agrícolas. De igual modo se tomó en cuenta la descripción de los compuestos químicos presentes en el AE de *C. citratus* realizado por Negrelle &

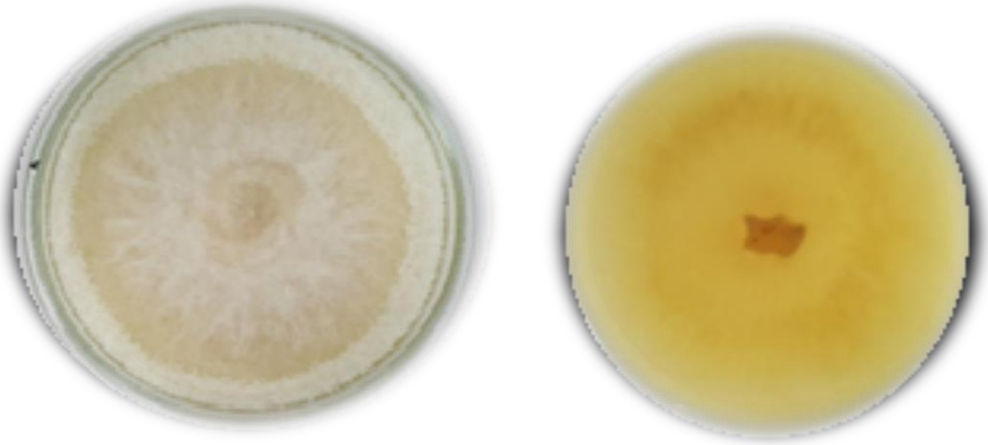
Carnerio (2006), en el cual los constituyentes del aceite esencial fueron el citral (aldehídos geranial con 40,2 % + neral 32,3 %) y terpenos (myrcene -monoterpene y geranial, terpenic alcohol).

Tabla 1
Resultado de la composición química del *Cymbopogon citratus*

t_R, min	Identificación tentativa	Cantidad relativa %
19,13	Metil heptano	0,1
19,36	β-mirceno	4,5
24,01	Compuesto NI	0,6
25,74	Compuesto NI	0,3
26,09	Compuesto NI	0,3
26,43	*Cis*-Isotral	1,0
27,15	*trans*-Isocitral	1,9
28,90	Compuesto NI	0,3
29,48	Neral	**34,9**
29,78	Genariol	2,8
30,56	Genarial	**48,2**
31,30	Undecanona	1,0
33,69	Eugenol	2,0
34,51	Acetato de genarilo	0,2
36,54	*Trans*-β-Cariofileno	0,2
38,64	Tridecanona	1,0
39,31	Acetate de eugenol	0,4
42,87	Compuesto NI	0,2

Los compuestos con mayor porcentaje son conocidos en el mercado por su capacidad de inhibir ante patógenos por su fuerte aroma a limón, cuya mezcla es conocida como citral, la cual se compone de dos estereoisómeros, el citral *a* (trans) o geranial y el citral *b* (cis) o neral (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, 2013).
En lo referente al patógeno *Fusarium oxysporum*, hallado inicialmente por medio de observaciones macroscópicas del aislamiento, se obtuvo un crecimiento algodonoso, inicialmente con tonalidad blanca que al pasar los días se tornaba más crema en la zona con mayor esporulación (Figura 8).

Las características microscópicas del patógeno aislado (Figura 9), por medio de las comparaciones microscópicas de su morfología (pigmentación, tamaño, forma y número de septos de micro y macroconidias), los resultados que en primera instancia se resaltaron fueron los del crecimiento acelerado de 3 cm cada tres días, las microconidias cilíndricas, en su mayoría con curvas que poseen un tamaño oscilado en 6,2 x 2,1 µm y de 2 a 3 septos, por tal motivo se pudo establecer que la especie con mayor similitud es el *F. oxysporum*.

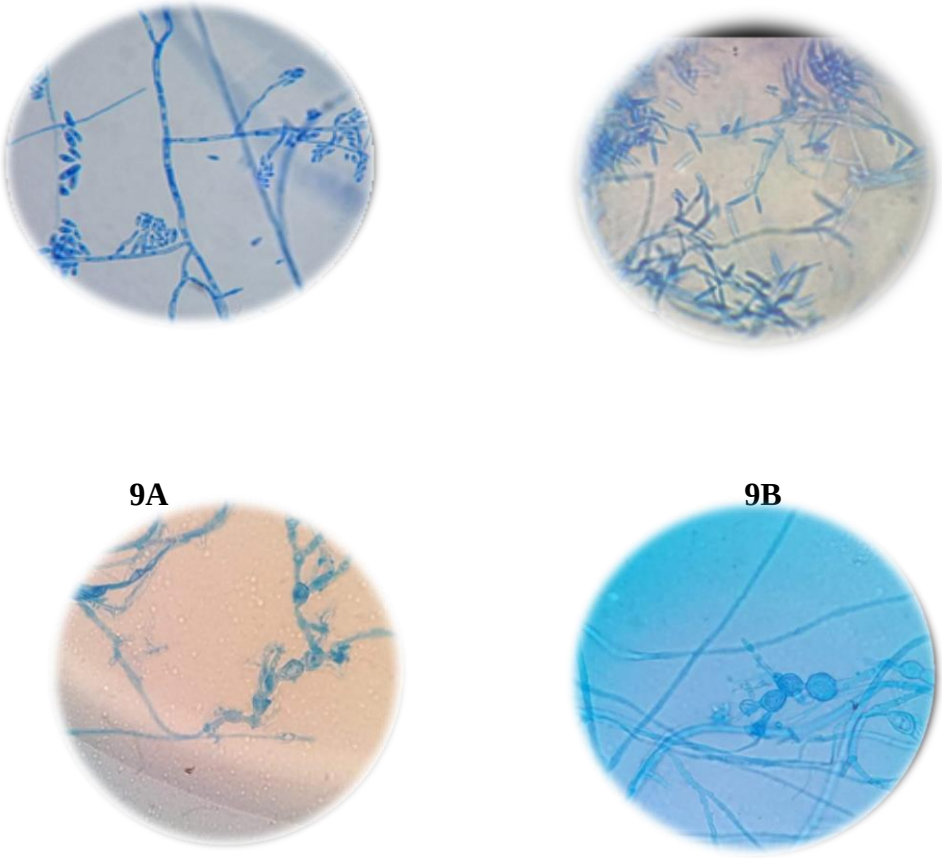


8A **8B**

Figura 8 Cepa de hongo aislado

8A. Hongo en el anverso, **8B**. Hongo en el reverso
Fuente: autores.

Estos resultados coinciden con Vásquez & Castaño (2017), quienes responsabilizaban las anomalías físicas de marchitez, manchas, añublos foliares, pudrición de la raíz tallo y fruto en la planta de tomate (*Lycopersicum esculentum*) eran inducidos por el *Fusarium oxysporum*. Cabe destacar que esta especie no solamente se encuentra presente en la planta de tomate, también se tienen datos de su incidencia en la leguminosa arbórea *Leucaena leucocephala,* como lo resalta la investigación de Lezcano *et al.* (2012) en Perú.



9A **9B**

9C **9D**

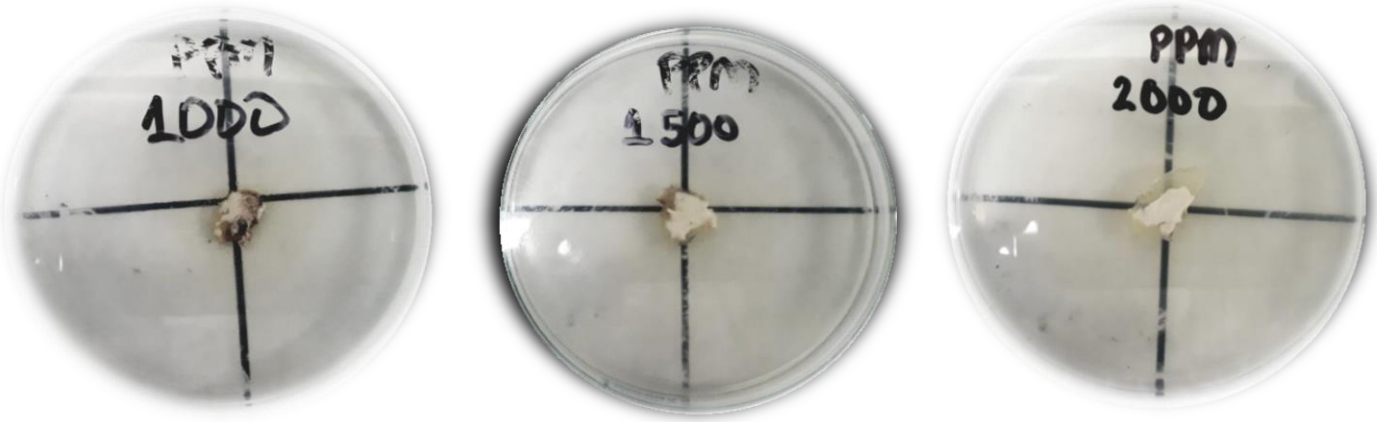
Figura 9 Vista microscópica del *F. oxysporum*

9A. Vista de microconidias cilíndricas a 10x, **9B**. Vista microscópica de macroconidias con septos a 100x, **9C**. Vista de clamidosporas globosas a 40x, **9D**. Vista de clamidosporas globosas intercalares a 100x.

Fuente: autores

Otra hortaliza afectada por la presencia del *F. oxysporum*, es la arveja *pisum sativum*, la cual tiene una investigación realizada por Osorio & Castaño (2011), bajo el título de "Caracterización del agente causante de la pudrición de raíces de la arveja (*pisum sativum linneo*), enfermedad endémica en el municipio de Manizales Caldas (Colombia)", cuyo estudio pudo demostrar bajo algunas claves taxonómicas la presencia de este patógeno con rasgos físicos similares, como marchitez, manchas, añublos foliares y aparente pudrición en su fruto, hojas y tallo.

Los resultados de inhibición obtenidos mediante la aplicación de la fórmula matemática fueron del 100 % (Tabla 2), es decir, el aceite esencial de *C. citratus*, presento una buena efectividad inhibitoria en las tres concentraciones (1000, 1500 y 2000 ppm), ya que no se produjo ningún crecimiento micelial durante los 7 días de incubación. Como se ilustra en la Figura 10.



10A **10B** **10C**

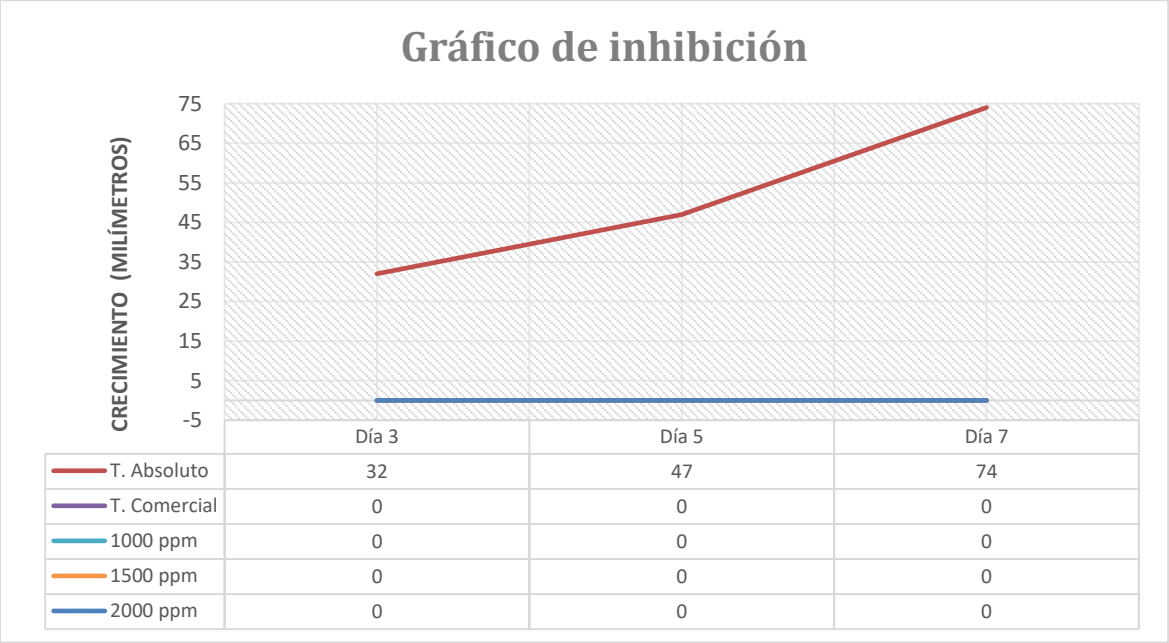
Figura 10 Tratamientos de AE *Cymbopogon citratus* en el día 7

10A. A los 7 días con 1000 ppm, **10B**. A los 7 días con 2000 ppm, **10C**. A los 7 días con 2000 ppm.
Fuente: autores.

En la gráfica 1 se observa de manera sintetizada los resultados obtenidos, sirviendo para corroborar la efectividad inhibitoria del *C. citratus*, como se había plasmado en el artículo publicado por Velluti, Marín, Gonzalez, Ramos, & Sanchis (2004), en el cual el AE del *C. citratus*, tuvo un porcentaje de reducción de los diámetros de las colonias procedentes de tres especies de *Fusarium*, con un aproximado de 45–60 % en concentración de 0.995 aw y 75–95 % con 0.95 aw, cuando la concentración se incrementó de 0 a 1000 mg/1 mL para todas las especies de estudio.

Tabla 2
Resultado del crecimiento del crecimiento micelial

Evaluación del crecimiento micelial (mm) de *Fusarium oxysporum* en pruebas antifúngicas con el aceite esencial del limoncillo (*Cymbopogon citratus*)										
Tratamiento	Concentración	N°	6/10/2018 Día 3 Ø mm	8/10/2018 Día 5 Ømm	8/10/2018 Día 7 Ø mm	Promedio Total	Índice antifúngico % DÍA 3	DÍA 5	DÍA 7	TOTAL %
PDA	Testigo absoluto	1	32	47	62					
		2	32	47	62					
SILVACUR	Testigo comercial	1	5	5	5					
		2	5	5	5					
Limoncillo (Cymbopogon citratus)	1000 ppm	1	0	0	0	0	100%	100%	100%	100%
		2	0	0	0	0	100%	100%	100%	100%
		3	0	0	0	0	100%	100%	100%	100%
		4	0	0	0	0	100%	100%	100%	100%
		5	0	0	0	0	100%	100%	100%	100%
	1500 ppm	1	0	0	0	0	100%	100%	100%	100%
		2	0	0	0	0	100%	100%	100%	100%
		3	0	0	0	0	100%	100%	100%	100%
		4	0	0	0	0	100%	100%	100%	100%
		5	0	0	0	0	100%	100%	100%	100%
	2000 ppm	1	0	0	0	0	100%	100%	100%	100%
		2	0	0	0	0	100%	100%	100%	100%
		3	0	0	0	0	100%	100%	100%	100%
		4	0	0	0	0	100%	100%	100%	100%
		5	0	0	0	0	100%	100%	100%	100%



Gráfica 1 Crecimiento micelial (mm) según los días de incubación

Es preciso señalar que no solo funciona contra el género *Fusarium*, también en otros patógenos como el *Colletotrichum gloeosporioides*, así lo demostró la investigación realizada por Souza, Pereira, & Ronie (2009) la cual tuvo un porcentaje de inhibición contra este patógeno del 100 %, empleando los aceites esenciales de *Lippia sidoides*, *Ocimum gratissimum*, *Lippia citriodora*, *Psidium guayava va* y *Cymbopogon citratus*,

estos AE no permitieron la germinación de las esporas del hongo en un periodo de siete días.

Por otra parte, se tuvo en cuenta la investigación de Pawar & Thaker (2007), en el que emplearon 75 aceites esenciales de diferentes plantas aromáticas para combatir el *Fusarium oxysporum sp cicer* y *Alternaria porri*, siendo el limoncillo la especie que mayor inhibición tuvo contra el *F. oxysporum*, con 77 mm; sin embargo, no fue tan efectivo contra la *A. porri* tan solo inhibió en 13.4 mm; siendo solamente destacado por contener el mayor grado de inhibición contra el *F. oxysporum*.

La alta efectividad fungicida en el AE de C.citratus coincide con los resultados de Pérez, Chamorro, Vitola, & Hernández (2017), quienes aplicaron AE de *C. citratus* contra el *Colletotrichum gloeosporioides* presente en el ñame, en concentraciones de 5000, 8000 y 10000 ppm, las cuales tuvieron un porcentaje de inhibición contra el patógeno del 97.77 %.

Los resultados obtenidos, confirman lo dicho por otro autores como Paranagama, Abeysekera, Abeywickrama, & Nugaliyadde (2003), sobre el citral *a* y *b*, principales compuestos de la planta presente en la investigación, siendo estos, componentes fungicidas que hacen especial al *C. citratus*, sirviendo para una posible aplicación en inferiores concentraciones a las que se tuvieron en cuenta en esta investigación (1000, 1500 y 2000).

Finalmente, se puede argumentar que esta investigación abre una línea base para continuar en la incursión de nuevas alternativas amigables con el medio ambiente, promoviendo la sostenibilidad y ayudando a evitar la intoxicación por plaguicidas de síntesis química, ya que éstos productos se expanden cada vez más en el mercado y son difíciles de competir, por no encontrar sustitutos con la misma efectividad. Cabe destacar, que la investigación indica que es viable continuar evaluando el uso del *Cymbopogon Citratus* en estas concentraciones e incluso menores a las aplicadas para atacar el *fusarium oxysporum* y demás patógenos causantes del deterioro en los cultivos colombianos.

4. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a los directivos de la corporación universitaria del Huila-CORHUILA por el apoyo brindado para lograr el desarrollo del proyecto, además se resaltan algunos funcionarios que contribuyeron en este proceso experimental para validar la información y así obtener los resultados esperados. Los compañeros de semillero quienes estuvieron retroalimentado la información que se recolectaba, algunos docentes externos que estuvieron en algunas asesorías y la Universidad Industrial de Santander quien realizo la cromatografía y espectros de masas.

LITERATURA CITADA

Agrios, G. N. (2005). *Plant pathology*. Elsevier Academic Press. New York, USA: 5 ed. Academic Press.

Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D., & Idaomar, M. (2008). Biological effects of essential oils a review. *Food and Chemical Toxicology*, *46*(2), 446–475. Recuperado de: https://doi.org/10.1016/J.FCT.2007.09.106

Bernal, H. Y., García, H., & Quevedo, G. F. (2011). *Pautas para el conocimiento, conservación y uso*

sostenible de las plantas medicinales nativas en Colombia. (Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Ed.). Bogotá. Recuperado de: http://www.humboldt.org.co/es/component/k2/item/393-pautas-para-el-conocimiento-conservacion-y-uso-sostenible-de-las-plantas-medicinales-nativas-en-colombia-estrategia-nacional-para-la-conservacion-de-plantas?highlight=ytoxontpoja7czo3oijwbgfudgfzijt9

Betts, T. J. (2001). Chemical characterisation of the different types of volatile oil constituents by various solute retention ratios with the use of conventional and novel commercial gas chromatographic stationary phases. *Journal of Chromatography*, *936*(2), 33–46. Recuperado de: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11761004

Booth, C. (1977). *Fusarium oxysporum. In: Descriptions.* Kew, Inglaterra: Commonwealth Mycological Institute (CAB).

Castro, H., & Figueroa, A. (2015). *Protocolo para el cultivo de fitopatogenos in vitro.* Neiva, Colombia: Corporación Universitaria del Huila-CORHUILA.

Castaño, J. (1998). *Prácticas de laboratorio de fitopatología.* Caldas, Colombia: Escuela Agrícola Panamericana. Departamento de Protección Vegetal.

COLCIENCIAS. (2016). Colombia, el segundo país más biodiverso del mundo | COLCIENCIAS. Retrieved October 17, 2018, from http://www.colciencias.gov.co/sala_de_prensa/colombia-el-segundo-pais-mas-biodiverso-del-mundo.

Cuéllar, A., & Yunus, R. (2009). Evaluation of the yield and the antimicrobial activity ofthe essential oils from: *Eucalyptus globulus, Cymbopogon citratus* and *Rosmarinus officinalis* in mbarara district (Uganda). *Colombiana de Ciencia Animal*, *1*(2), 240–249. Recuperdo de: https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b01046

Enespa, & SK.Dwivedi. (2014). Effectiveness of some Antagonistic fungi and botanicals against *Fusarium solani* and *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* infecting brinjal and tomato plants. *Plant Pathology*, *8*(18), 18–25.

García, A., Rodríguez, C., Restrepo, E., & Sánchez, A. (2017). Residuos de plaguicidas en tomate (*solanum lycopersicum*) comercializado en Armenia, Colombia. *Facultad de ciencias farmacéuticas y alimentarias*, *2*(2), 68–79.

Granados, C., Yáñez, X., & Santafé, G. (2012). Evaluación de la actividad antioxidante del aceite esencial foliar de Calycolpus moritzianus y Minthostachys mollis de Norte de Santander. *Red de Revistas Científicas de América Latina, El Caribe, España y Portugal*, *10*, 12–23.

Guo, Z., Xing, R., Liu, S., Zhong, Z., Ji, X., Wang, L., & Li, P. (2008). The influence of molecular weight of quaternized chitosan on antifungal activity. *Carbohydrate Polymers*, *71*(4), 694–697. Recuperado de: https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2007.06.027

Horto. (2017). Superficie mundial de tomate. Octubre 17, 2018. Recuperado de: http://www.hortoinfo.es/index.php/3775-superf-mundo-tomate-101014

Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. (2013). *Citral*. Recuperado de: http:intranet.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/LEP%20_VALORES%20LIMITE/Doc_Toxicologica/Capitulos%2072_82/Ficheros/DLEP%2073.%20citral.pdf

Joulain, D. (1996). Investigating new essential oils : rationale, results and limitations. *Perfumer and flavorist*, *21*, 1–10. Recuperado de: http://plateforme-documentaire.ctifl.fr/Record.htm?idlist=1&record=19400381124912285639

Leslie, J., & Summerell, B. (2006). *The fusarium laboratory manual*. Blackwell Pub. Recuperado de: https://www.wiley.com/en-us/The+Fusarium+Laboratory+Manual-p-9780813819198

Lezcano, J., Martinez, B., & Alonso, O. (2012). Caracterización cultural y morfológica e identificación de diez aislamientos de *Fusarium* procedentes de semillas de *Leucaena leucocephala* cv. Peru almacenadas. *Pastos y Forrajes*, *35*(2), 187–196.

Linares, S., Gonzalez, N., Usubillaga, A., & Darghan, E. (2005). Efecto de la fertilización , densidad de siembra y tiempo de corte sobre el rendimiento y calidad del aceite esencial extraído de *Cymbopogon citratus Stapf*. *Facultad Agronnomía*, *22*, 250–263.

López, D. (2003). *Contribución al diagnóstico de las especies del género Fusarium Link. México DF, México.*

Maiti, S., Raju, S., Geetha, K., Mandal, K. (2006). Good Agricultural Practices for Patchouli, Geranium and Lemongrass. N*ational Research Centre for Medicinal and Aromatic Plants, Boriavi, Anand*-38, Gujarat, India. pp. 16–17.

Meed, G., Hudson, M., & Hinton, M. (1993). *Microbiological survey of fi ve poultry processing plants in the UK. Br Poult Sci.*

Mendoza, L. D., & Taborda, M. (2010). Composición química y actividad acaricida del aceite esencial de *Cymbopongon citratus Stapf* contra el acaro intradomiciliario *Dermatophagoides farinae* (Acari:

Pyroglyphidae). *Biosalud*, *9*(2), 21–31. Recuperado de: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1657-95502010000200004

Morales, P. (2016). Alertan por mal uso de plaguicidas en el campo en la ciudad. Febrero 5, 2019. Recuperado de: https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-16611594

Negrelle, R., & Carneiro, E. (2006). *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf: Chemical composition and biological activities. *Revista Brasileira de Plantas Medicinais, 9*, 34-45.

Osorio, L., & Castaño, J. (2011). Caracterización del agente causante de la pudrición de raíces de la arveja (*Pisum sativum LINNEO*), Enfermedad endémica en el municipio de Manizales, *19*(2), 33–43.

Pawar, V. C., & Thaker, V. S. (2007). Evaluation of the anti-Fusarium oxysporum f. sp cicer and anti-Alternaria porri effects of some essential oils. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, *23*(8), 1099–1106. Recuperado de: https://doi.org/10.1007/s11274-006-9339-6

Paranagama, P., Abeysekera, K., Abeywickrama, K., & Nugaliyadde, L. (2003). Fungicidal and anti-aflatoxigenic effects of the essential oil of Cymbopogon citratus (DC.) Stapf. (lemongrass) against Aspergillus flavus Link. isolated from stored rice. *Letters in Applied Microbiology*, *37*(1), 86–90. Recuperado de: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12803563

Pérez, A., Rojas, J., Chamorro, L., & Pérez, K. (2011). Evaluación in vitro de la actividad inhibitoria de extractos vegetales sobre aislados de Colletotrichum spp. *Acta Agronómica*, *60*(2), 158–164. Recuperado de: http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/27838/28109

Pérez, A., Chamorro, L., Vitola, D., & Hernández, J. (2017). Actividad antifúngica de *Cymbopogon citratus* contra *Colletotrichum gloeosporioides*. *Agronomía Mesoamericana*, *28*(2), 465. Recuperado de: https://doi.org/10.15517/ma.v28i2.23647

Pino, O., Sánchez, Y., Rojas, M., Abreu, Y., & Correa , T. (2012). Composición química y actividad antibacteriana del aceite esencial de Pimpinella anisum L. *Protección vegetal*, 172-181.

Ramyabharathi, S., Meena, B., & Raguchander, T. (2012). Induction of chitinase and β-1,3- glucanase PR proteins in tomato through liquid formulated Bacillus subtilis EPCO 16 against Fusarium wilt. Journal of Today's Biological Sciences, 1(1), 51–60.

Ríos, E. (2010). Evaluación del aceite y estudio de conservación en frío del C*ymbopogon citratus* cultivado en la región del Quindío. *Investigación Universidad Del Quindío*, *20*(3), 24–28.

Saleem, M., Afza, N., Anwar, M., Hai, S., & Ali, M. (2003). A Comparative Study of Essential Oils of Cymbopogon Citratus and Some Members of the Genus. *Natural Product Research*, *17*(5), 369–373. Recuperado de: https://doi.org/10.1080/14786410310001605823

Saldarriaga, L. (2010). Micología. Febrero 22, 2019. Recuperado de: https://es.scribd.com/doc/24276689/Atlas-micologia

Singh, K. (1991). *An illustrated manual on identification of some seed-borne Aspergilli, Fusaria, Penicillia and their mycotoxins.* Dinamark: Danish Government Institute of Seed Pathology for Developing Countries: Department of Bio-technology the Technical University of Denmark.

Souza, J., Pereira, N., & Ronie, E. (2009). Gloeosporioides, isolado do maracujazeiro amarelo Material e Métodos Isolamento do patógeno. *Biotemas*, *22*(3), 77–83.

Vásquez, L., & Castaño, J. (2017). Manejo integrado de la marchitez vascular del tomate [*Fusarium oxysporum f. sp*. lycopersici (SACC.) W.C. Snyder & H.N. Hansen]: una revisión. *Actualidad & Divulgación Científica*, *20*(2), 363–374. Recuperado de: http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v20n2/v20n2a14.pdf

Varona, M., Henao, G., Díaz, S., Lancheros, A., Murcia, Á., Rodríguez, N., Álvarez, V. (2009). Evaluación de los efectos del glifosato y otros plaguicidas en la salud humana en zonas objeto del programa de erradicación de cultivos ilícitos. *Biomédica*, *29*(3), 456. Recuperado de: https://doi.org/10.7705/biomedica.v29i3.16.

Velluti, A., Marín, S., Gonzalez, P., Ramos, A. J., & Sanchis, V. (2004). Initial screening for inhibitory activity of essential oils on growth of Fusarium verticillioides, F. proliferatum and F. graminearum on maize-based agar media. *Food Microbiology*, *21*(6), 649–656. Recuperado de: https://doi.org/10.1016/j.fm.2004.03.009

Weiss, E.A. (1997). *Essential Oil Crops.* CAB International, Wallingford, UK, pp. 86–103.

Ciencia e Ingeniería
Revista Interdisciplinar de Estudios en Ciencias Básicas e Ingenierías.
Año 2018, Enero-Junio, Vol. (5) N° (1), pp. 43-57. ISSN 2389-9484.
Universidad de La Guajira, Facultades de Ciencias Básicas y Aplicadas e Ingeniería.
La Guajira-Colombia.
Revista en Línea http://revistas.uniguajira.edu.co/index.php/cei

EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA DE UN BIODIGESTOR TUBULAR ANAEROBIO A ESCALA PILOTO

EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF REMOVAL OF ORGANIC MATTER FROM A PILOT SCALE PIPELINE ANAEROBIO BIODIGESTOR

Cubillos Sierra Dayana F.[1], Huertas Huertas Diana M.[2] , Contreras León Henry[3]

1 Estudiante de Ingeniería Ambiental, Universidad Santo Tomás, , dayanacubillos@usantotomas.edu.co
2 Estudiante de Ingeniería Ambiental, Universidad Santo Tomás diana.huertas@usantotomas.edu.co
3 Ingeniero Ambiental y Sanitario, Esp. en Química Ambiental, Universidad Santo Tomás henrycontreras@usantotomas.edu.co

Recibido: Agosto 20 de 2017 Aceptado: Enero 20 de 2018

RESUMEN

El presente trabajo estudia la eficiencia de un biodigestor tubular anaerobio a escala piloto en la Institución Educativa Agrícola Guacavía, a través de un diseño experimental completamente al azar 3x2. Se realizaron seis tratamientos; correspondientes a las combinaciones de los tiempos de retención hidráulica de 5 y 8 días y las relaciones estiércol – agua de lavado de 1:10, 1:7 y 1:4 con tres réplicas de tratamiento para evidenciar las relaciones entre estas. La evaluación se realizó mediante los siguientes parámetros fisicoquímicos: pH, temperatura, conductividad, DBO, DQO, SST, SSV y Ssed. Los resultados obtenidos en términos de remoción de materia orgánica mostraron que el TRH más eficiente es el de 8 días para la relación 1:7, obteniendo porcentajes de remoción de 84,95% para DBO, 88,74% para DQO, 84,48% para Ssed, 81,04% para SST, y 86,5% para SSV. Sumado a esto, estadísticamente se encontraron diferencias significativas entre los resultados obtenidos de los TRH y las relaciones, para los parámetros DBO y DQO, y SST y SSV.

Palabras clave: Tiempo de retención hidráulica, relación estiércol – agua, diseño experimental, porcentaje de remoción.

ABSTRACT

The present work studies the efficiency of an anaerobic tubular biodigester at pilot scale in the Guacavía Agricultural Educational Institution, through a completely random 3x2 experimental design. Six treatments were performed; corresponding to the combinations of the hydraulic retention times of 5 and 8 days and the manure - wash water ratios of 1:10, 1: 7 and 1: 4 with three treatment replicas to show the relationships between them. The evaluation was performed using the following physicochemical parameters: pH, temperature, conductivity, BOD, COD, SST, SSV and Ssed. The results obtained in organic matter removal terms showed that the most efficient HRT is that of 8 days for the 1: 7 ratio, obtaining removal percentages of 84.95% for BOD, 88.74% for COD, 84.48% for Ssed, 81.04% for SST, and 86.5% for SSV. Added to this, statistically significant differences were found between the results obtained from the HRT and the relationships, for the parameters BOD and COD, and SST and SSV.

Key words: hydraulic retention time, ratio manure - water, experimental design, percentage of removal.

1. INTRODUCCIÓN

El arroz (*Oryza sativa L.*) es considerado el cultivo más importante del mundo, además El tratamiento de aguas en Colombia se ha convertido en uno de los problemas ambientales más difíciles de manejar, puesto que los vertimientos de aguas residuales provenientes de los hogares y del sector agropecuario contaminan fuentes hídricas tales como ríos, aguas subterráneas, lagunas, humedales, entre otros, ocasionando impactos ambientales negativos sobre el ambiente y la salud humana (Flickr, 2018).

Asimismo, se reconoce que los vertimientos generados por el sector agropecuario colombiano son los más contaminantes, en especial los provenientes de la porcicultura, debido a que estas originan impactos ambientales negativos cuando no se les brinda un adecuado tratamiento y disposición final a los subproductos producidos, convirtiendo a la actividad porcícola en una de las actividades más examinadas del sector agropecuario por el control requerido durante el proceso. No obstante, estas aguas residuales pueden ser tratadas por diferentes sistemas de tratamiento tales como lagunas de oxidación, biodigestores, plantas de tratamiento, etc. (CORMACARENA, 2015).

Uno de los sistemas más eficientes son los biodigestores, que constituyen una valiosa alternativa para el tratamiento de los desechos orgánicos generados en las empresas agropecuarias, debido a que disminuye la carga contaminante, mejora la capacidad fertilizante del material, elimina los malos olores y genera una energía renovable denominada biogás, utilizado para cocer alimentos, generar electricidad, y obtener luz directamente usando lámparas de gas (Campos, 2011).

En este estudio se implementó un biodigestor tubular anaerobio a escala piloto para el tratamiento de las aguas residuales porcinas. Este es un recinto hermético que cuenta con una entrada alimentada por una dilución de estiércol en agua (kilogramo de estiércol: litros de agua), de manera que, las bacterias que se encuentran en el interior degradan la materia orgánica contenida a fin de obtener alta remoción de DQO y DBO en el efluente del sistema (Arrieta, 2016).

El objetivo de este artículo es evaluar la eficiencia de un biodigestor tubular anaerobio a escala piloto para el tratamiento de aguas residuales porcinas, a través de un modelo experimental el cual opera con tiempos de retención hidráulica de 5 y 8 días (más cortos que los tiempos convencionales) y cargas orgánicas teniendo en cuenta las relaciones de estiércol porcino – agua 1:4, 1:7 y 1:10 (kilogramos de estiércol húmedo: litros de agua) según expone Millares (2011), demostrando que es posible obtener porcentajes de remoción de materia orgánica en tiempos cortos de retención, con un biodigestor de dimensiones inferiores a las convencionales.

Además, se realizó una comparación de los parámetros fisicoquímicos obtenidos en los monitoreos con la normatividad vigente, se calculó el porcentaje de remoción de materia orgánica y se plantearon propuestas de optimización en cuanto al manejo, tratamiento y disposición final de las aguas residuales provenientes del proceso de cría de cerdos, con el propósito de garantizar su producción con mejores condiciones operativas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación se llevó a cabo en la Institución Educativa Agrícola Guacavía, ubicada en la Inspección Guacavía, municipio de Cumaral, Meta, los análisis se realizaron en el laboratorio de Aguas Residuales de la Universidad Santo Tomás, Campus Aguas Claras de la ciudad de Villavicencio, Colombia.

Para la evaluación de la eficiencia de remoción del biodigestor tubular anaerobio a escala piloto, inicialmente se estableció un sistema de variables para elaborar el modelo experimental. En este caso se trata de un diseño completamente al azar 3x2 con seis tratamientos que cuenta con tres repeticiones cada uno, el cual se realizó a partir de los tiempos de retención cortos establecidos (5 y 8 días) y las cargas contaminantes ingresadas (1:4, 1:7 y 1:10), seleccionados a partir de la literatura donde se encontraron estudios como el realizado por Beteta 2005 y Millares 2011, donde proponen relaciones 1:4 (una parte de estiércol por cuatro partes de agua) como la recomendada, pero se puede disponer hasta la proporción 1:10 para el estiércol de cerdo.

Para la implementación de los sistemas se elaboraron 3 cajas trapezoidales (Figura 1) de madera, las cuales fueron ubicadas en un área dentro de la granja porcina de la institución, y se realizó la construcción de cada uno de los biodigestores con base en el Manual de construcción y uso de biodigestores tubulares plásticos (Beteta y González, 2005) (En este caso se trata de un plástico negro calibre 6 de ancho de rollo de 1 metro). Una vez elaborados los reactores se dio inicio a la fase de adaptación la cual tardó 19 días en evidenciar la producción de biogás, seguido de esto se realizaron los seis tratamientos teniendo en cuenta las variables anteriormente establecidas.

Los análisis de muestra se realizaron según las técnicas establecidas en los métodos estándar para el monitoreo de aguas residuales de la Asociación Estadounidense de Salud Pública (APHA), la Asociación Estadounidense de Obras Hídricas (AWWA) y la Federación Internacional del Agua (WEF), (2005) y el instructivo para la toma de muestras de aguas residuales del IDEAM (2007), realizando la recolección de la muestra cada biodigestor a escala piloto y analizándolas en el laboratorio del Campus Aguas Claras de la Universidad Santo Tomás.

El total de muestras fue de 288 teniendo en cuenta el diseño experimental completamente al azar 3x2, estas muestras se tomaron en horas de la mañana en el efluente y afluente de cada biodigestor durante el inicio y finalización de cada tiempo de retención hidráulico establecido para cada tratamiento durante los 4 meses de duración del proyecto, los tratamientos evaluados fueron 6: 1)Relación estiércol: agua 1:10, 8 días, 2) Relación estiércol: agua 1:7, 8 días, 3) Relación estiércol: agua 1:4, 8 días, 4) Relación estiércol: agua 1:10, 5 días, 5) Relación estiércol: agua 1:10, 5 días, 6) Relación estiércol: agua 1:10, 5 días, según los valores establecidos para cada variable teniendo en cuenta la literatura encontrada. Además se realizó un triplicado para cada uno de los seis tratamientos que permitió relacionar la información recopilada para cada TRH y carga contaminante determinada.

La hipótesis planteada en esta investigación fue que el biodigestor tubular anaerobio a escala piloto presentará remociones de materia orgánica superiores al 80%, en alguno de los experimentos empleados en la presente investigación, operando con tiempos de

retención hidráulicos (5 y 8 días) y relaciones estiércol – agua (1:4, 1:7 y 1:10) determinados a través de una serie de experimentos.

Por otra parte, con base en los datos obtenidos en el laboratorio se realizó el calculó del porcentaje de remoción de materia orgánica teniendo en cuenta los parámetros DBO, DQO, SST, SSV y Ssed, para determinar la eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales con TRH de 5 y 8 días, empleando la Ecuación 1 propuesta por (Gutiérrez, Aragón, y Valencia, 2014).

Eficiencia de remoción (%)=((Carga cont.de entrada-Carga cont.de salida))/(Carga cont.de entrada)×100 (Ecuación 1) (Gutiérrez et al., 2014)

La evaluación se efectuó finalmente comparando el promedio de los datos obtenidos a partir de las muestras tomadas de los efluentes provenientes del biodigestor tubular durante los seis tratamientos ejecutados, con base en la Resolución 1207 de 2014 que establece los valores máximos permisibles que debe cumplir el efluente proveniente del sistema de tratamiento de agua residual, para su posterior utilización en actividades agrícolas, como por ejemplo, agua para riego en cultivos de pastos y forrajes para consumo animal. Además, se considera la Resolución 0631 de 2015, que expone los parámetros permisibles que debe cumplir la ganadería de porcinos-cría para verter sus aguas en una fuente hídrica superficial.

Para el análisis estadístico se empleó el software IBM SPSS Statistics para analizar las correlaciones existentes para cada TRH (5 y 8 días) con las relaciones estiércol – agua (1:4, 1:7 y 1:10) entre las diferencias másicas obtenidas a partir del valor de entrada y de salida de los promedios obtenidos de las tres réplicas para cada uno de los cinco parámetros fisicoquímicos considerados para determinar los porcentajes de remoción de materia orgánica (DBO, DQO, SST, SSV y Ssed). Se realizó una correlación bivariada a partir de la cual se manejó el coeficiente de correlación de Pearson para una prueba de significación unilateral.

Posteriormente, se realizaron ANOVAS por medio del análisis de varianza de dos factores (tiempo de retención hidráulica y relación estiércol – agua) elaborados por Parcelas Divididas en Excel 2013, a partir de los porcentajes de remoción obtenidos en cada una de las réplicas realizadas del diseño experimental, de manera que se determinó la existencia de diferencias significativas entre los TRH, las relaciones o entre ambas variables. Todos los ANOVAS fueron realizados con un nivel de significancia de $p=0,05$.

Igualmente, con base en los resultados obtenidos, se plantean medidas de manejo que permitan mejorar el sistema de tratamiento del agua residual porcina a escala piloto estudiado y su implementación en fincas agropecuarias, para que los pequeños productores puedan emplear este sistema con las dimensiones evaluadas en este estudio y a su vez logren adecuarlo según sus necesidades de producción en el sector porcícola.

3. RESULTADOS

Como se observar en la Figura 2 para el potencial de hidrogeno (pH) los datos de entrada oscilan entre 7,3 y 8,21 y los de salida oscilan entre 6,5 y 6,99, de manera que dan cumplimiento a la normatividad vigente (Resolución 1207 de 2014 y 0631 de 2015)

y a lo expuesto por Olaya y Gonzáles (2009) donde para un adecuado funcionamiento del biodigestor presentará un pH "entre 6,5 y 7,5". También se evidencia un descenso en los datos de salida con respecto a los de entrada, debido a que durante la fermentación anaerobia las bacterias acidogénicas se encargan de disminuir el pH por debajo de 6,8 mientras convierten los materiales orgánicos simples en "ácidos grasos volátiles (AGV), alcoholes, aldehídos, agua, formato, acetato, dióxido de carbono e hidrógeno" (Lagos, 2013).

La conductividad en la Figura 3 se observa que según la resolución 1207 del 2014 el valor máximo permisible es 1500 µs/cm para agua de riego. Los valores de entrada oscilaron entre 1342 µs/cm y 1747 µs/cm y los de salida entre 415,2 µs/cm y 1198,62 µs/cm, indicando que cumple con lo establecido para vertimientos. Además, se denota una disminución de los valores de salida con respecto a los de entrada, teniendo que del primer al sexto tratamiento se evidenciaron reducciones porcentuales de la siguiente manera: 55,07% para el primero, 71,24% para el segundo, 46,13% para el tercero, 73,08% para el cuarto, 55,53% para el quinto y 62,36% para el sexto. Este descenso se debe al contenido de sales incorporadas en el alimento, las excretas y la orina (Domínguez y Faz, 2009) y también Soria et al. (2001) expone que, "se encuentra asociado al consumo de los compuestos solubles del sustrato por parte de los microorganismos".

La temperatura media obtenida en el afluente fue de 25ºC y en el efluente de 27ºC, registrando un ascenso de 2ºC durante el desarrollo de los seis tratamientos, debido a que la temperatura del afluente se encuentra aclimatizada y al ingresar al biodigestor se adapta a la temperatura conservada en el interior, favorecida por el aporte calórico generado por el plástico negro, concordando con lo propuesto por la FAO (1995) quien determinó que la temperatura promedio para el adecuado funcionamiento de los biodigestores anaeróbicos es de 30ºC, y los resultados obtenidos son cercanos a este valor.

En la Figura 4 se evidencia que los valores obtenidos cumplen con la resolución 0631 de 2015, donde se establece como límite máximo permisible 40ºC para el vertimiento en la ganadería porcina, cumpliendo para cada uno de los tratamientos realizados en este estudio, donde el valor mínimo obtenido de temperatura fue de 24ºC y el máximo de 28ºC, manteniéndose por debajo de este valor.

Los sólidos sedimentables como se observa en la Figura 5 se logra ver que el mayor porcentaje de remoción de materia orgánica, para este parámetro, fue para el tiempo de retención hidráulica de 8 días con una relación de estiércol – agua de 1:7 (84,48%), y el menor porcentaje para el tiempo de retención hidráulica de 5 con la relación estiércol – agua 1:4. Por otra parte, las desviaciones estándar determinadas teniendo en cuenta las réplicas de tratamiento, evidencia que el mayor valor se obtuvo en el primer tratamiento (TRH de 8 días con la relación 1:10) con una S = 7,75, lo cual indica que el valor promedio 78,88% puede tener una variabilidad de ±7,75%, debido a que los valores de las réplicas presentan datos más dispersos, en comparación con los otros tratamientos en donde la desviación expresa que los valores se encuentran menos alejados de la media aritmética.

Además, en cuanto a los datos que representan la eficiencia del sistema (entrada y salida), se evidencia como se observa en la Figura 6, que los valores de entrada tienden

a aumentar su valor conforme la relación estiércol – agua disminuye a razón de 1:10, 1:7 y 1:4 respectivamente en los dos tiempos de retención hidráulica. Adicionalmente, se denota una disminución de los valores de salida con respecto a los de entrada, debido a que según Botero esta remoción corresponde a que estos sólidos son los que "sirven de alimento a los microorganismos responsables de la biodigestión"(Botero y Preston, 1987). Asimismo, se evidencian del primer al sexto tratamiento reducciones porcentuales promediando los datos de salida de las réplicas de la siguiente manera: 57,76% para el primero, 68,97% para el segundo, 61,11% para el tercero, 55,56% para el cuarto, 57,84% para el quinto y 50,93% para el sexto. También, indica la presencia de un número alto de microorganismos presentes en los lodos que por acción de las bacterias encargadas del proceso de fermentación hacen que los sólidos se encuentren en menor cantidad "que al no ser agitados evita sólidos en suspensión" (Sánchez, Peón, Cardona, Ortega y Urriolagoitia, 2016). Por otra parte, según la resolución 0631 de 2015, el valor máximo permisible es 5 mL/L, pero los efluentes no dan cumplimiento a esta normatividad debido a que sobrepasan este límite, señalando que se requiere un postratamiento para mejorar la eficiencia de remoción de materia orgánica.

En la Figura 7 el mayor porcentaje de remoción de materia orgánica evaluado para el parámetro de sólidos suspendidos totales (SST) se obtuvo en el segundo tratamiento (TRH de 8 días para la relación 1:7) con un valor del 81,04%. Por otra parte, se observa baja variabilidad de los datos entre las distintas réplicas. No obstante, dentro de estos valores, la mayor desviación estándar se reporta en el primer tratamiento (TRH de 8 días con la relación 1:10) con un valor de S =13,17, el cual fue hallado a partir de las tres réplicas realizadas para dicho tratamiento, lo que señala que estos datos poseen una menor homogeneidad en sus resultados ya que pueden variar ese valor por encima o por debajo del valor promedio que es 78,17%, y por otra parte, el tratamiento donde los datos presentaron mayor homogeneidad, y por ende mayor confiabilidad en los datos obtenidos en las réplicas, fue en el tratamiento cuatro (TRH de 5 días con una relación 1:10), ya que puede existir un cambio en el porcentaje de remoción de ±0,69%.

También se puede observar en la Figura 8, que en todos los tratamientos los valores de salida disminuyeron considerablemente (Entre el 69,81% al 81,04% de remoción). Es así que los datos presentaron un descenso en los valores siendo el promedio máximo del afluente de 3186,67 mg/L y el promedio mínimo del efluente de 580,60 mg/l, alcanzando porcentajes de remoción hasta del 81,04% para la relación 1:7 en el tiempo de retención hidráulica de 8 días. Teniendo como supuesto que según Martínez "gran parte de estos son sólidos volátiles, que son la materia prima para la producción del biogás, y en la medida que la producción de biogás sea mayor, mayores serán los porcentajes de remoción" (Martínez, Murcia, y Suaréz, 2015), cabe resaltar que tanto las concentraciones de entrada y salida del biodigestor son muy altas, comparadas con otras aguas residuales como las domésticas donde sus concentraciones varían entre 250 mg/L a 200 mg/L en el afluente para DBO y SST (Noyola, 1997). Por otra parte, según la resolución 0631 de 2015 establece como límite máximo permisible 400 mg/L, de acuerdo con los datos obtenidos ninguna de las concentraciones en el efluente de los biodigestores es admisible para vertimiento a un cuerpo de agua superficial.

En la Figura 9 los porcentajes de remoción de Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV) indican una remoción del 68,85% a 86,50% para las relaciones 1:4 en el tiempo de retención hidráulica de 5 días y 1:7 para el tiempo de retención hidráulica de 8 días, coincidiendo con el estudio elaborado por Molina (1999) quien obtuvo porcentajes de

remoción de materia orgánica del 56% al 61% de SSV en tiempos de retención de 2, 3 y 6 días considerando una alta eficiencia de remoción de materia orgánica en este sistema de tratamiento.

También se observa la desviación estándar la cual indica la dispersión de los datos con respecto a la media para cada tratamiento, donde el valor más alto se obtuvo en el tercer tratamiento (TRH de 8 días para la relación 1:4) con una S=5,89, mostrando que, si la media del porcentaje de remoción de materia orgánica para las réplicas de este tratamiento es de 79,91%, se espera un cambio en el porcentaje de remoción del ±5,86%.

Asimismo, en la Figura 10 se aprecian los datos de entrada y salida del sistema de tratamiento de agua residual porcina, registrando un descenso notorio de los valores de salida del triplicado del biodigestor anaerobio, donde la media mínima obtenida fue de 311,6 mg/L para el tratamiento dos (TRH de 8 días con la relación 1:7) y la media máxima fue de 843,67 mg/L para el tratamiento seis (TRH 5 días con la relación 1:4), disminuyendo en un 13,59% y 31,15% con respecto a los valores de entrada.

En cuanto a la normatividad vigente para aguas residuales este parámetro no está contemplado. Sin embargo, se considera importante como indicador de remoción de materia orgánica, puesto que corresponde a un 80% de los sólidos totales. (De acuerdo con el contenido de sólidos suspendidos totales y sólidos suspendidos volátiles medidos en esta investigación). Es decir, que los porcentajes de remoción aumentan directamente proporcional a la producción de biogás de acuerdo con lo encontrado en la literatura (Chará, Pedraza, & Conde, 2002).

En la Figura 11 con respecto a la demanda biológica de oxígeno se observan los porcentajes de remoción de materia orgánica en los seis tratamientos obtenidos para este parámetro, donde se evidencia que el valor máximo se obtuvo en el tratamiento dos (TRH de 8 días con la relación 1:7), con un porcentaje del 84,57% y un porcentaje mínimo de 52,02% para el tratamiento seis (TRH de 5 días con la relación 1:4), esto se debe a la relación estiércol-agua, ya que a menor cantidad de agua es mayor la concentración de materia orgánica y los microorganismos no cuentan con un tiempo de retención hidráulica suficiente para la descomposición (5 días). Sin embargo, coincide con otros estudios propuestos que a pesar de utilizar otros reactores en tiempos de retención hidráulica diferentes, concuerdan en cuanto al porcentaje de remoción, tal es el caso de la investigación realizada por Méndez et al (2013) donde implementaron un reactor UASB para tratar aguas residuales porcinas y alcanzan porcentajes de 60% de DBO y el estudio elaborado por Garzón y Buelna (2013) quienes utilizando un digestor anaerobio DALYS alcanzaron el 96% de remoción de DBO, corroborando la eficiencia de eliminación de materia orgánica de estos sistemas de tratamiento de agua residual a través de los porcentajes de remoción.

En cuanto a la desviación estándar se registró el valor máximo en el primer tratamiento (TRH de 8 días con la relación 1:4) siendo S= 2,07, indicando que existe mayor variabilidad en los datos obtenidos a partir del triplicado realizado, al igual que un cambio en el porcentaje de remoción de materia orgánica del ±5,86%.

En la Figura 12 se consideran los valores del afluente y efluente del biodigestor anaerobio observando una disminución con respecto a los datos de entrada del sistema

de tratamiento, siendo el promedio mínimo obtenido 224,67 mg/L O2 para el tiempo de retención hidráulica de 8 días con la relación estiércol-agua de 1:7 con un descenso del 15,43% y el máximo de 697,67 mg/L O2 para el tiempo de retención hidráulica de 5 días para la relación estiércol-agua 1:4 descendiendo en un 47,98%.

Por otra parte, teniendo en cuenta la resolución 0631 de 2015, la cual establece como valor máximo permisible 450 mg/L O2 para verter el agua tratada a un cuerpo de agua superficial, los tratamientos que cumplen con esta normatividad son el tiempo de retención hidráulica de 8 días para las relaciones estiércol–agua 1:10 y 1:7, ya que registran valores inferiores al límite establecido, mientras que los tratamientos restantes exceden este valor por lo tanto se requiere de un postratamiento que complemente la remoción del material orgánico.

En la Figura 13 se observan los valores porcentuales de remoción de materia orgánica de la demanda química de oxígeno, con base en el triplicado elaborado para este estudio, donde la media más alta se presentó en el segundo tratamiento (TRH de 8 días con la relación 1:7) con una remoción del 88,74%, pasando de una concentración de 23672,49 mg/L O2 a 2664,82 mg/L O2 en el efluente del sistema, y la media menor se dio en el tratamiento seis (TRH de 5 días para la relación 1:4), eliminando el 58,73% de la materia orgánica presente en el agua, descendiendo de una carga de 17924,4 mg/L O2 a 7396,71 mg/L O2.

Por otra parte, las desviaciones estándar determinadas para este parámetro son consideradas bajas porque no se presenta gran variabilidad en los datos obtenidos en las réplicas, no obstante, dentro de estos valores la mayor desviación estándar corresponde al tiempo de retención hidráulica de 8 días con la relación estiércol–agua de 1:4 (S = 4,74), indicando una mayor dispersión en los datos, al igual que un cambio porcentual de ±4,74%.

En la Figura 14 se aprecian los datos registrados en la entrada y salida del sistema de tratamiento de agua residual porcina, reconociendo el descenso en el efluente del biodigestor en cuanto a las cargas orgánicas del afluente, siendo el valor promedio mínimo obtenido de 2664,82 mg/L O2 en el tiempo de retención hidráulica de 8 días para la relación estiércol-agua 1:7 disminuyendo en un 11,72% con respecto a la concentración de entrada de 23672,49 mg/L O2 y el valor promedio máximo fue de 7396,71 mg/L O2 en el tiempo de retención hidráulica de 5 días para la relación 1:4 con una disminución del 41,26%.

Por otra parte, la resolución 0631 de 2015 establece como límite máximo permisible 900mg/L O2 para ser vertido en una fuente hídrica, sin embargo, de acuerdo con los datos obtenidos ninguno de los tratamientos es admisible con el límite establecido por esta normatividad, a pesar de obtener porcentajes de remoción considerables, por lo que se requiere de un postratamiento que mejore la remoción del material biológico.

En la Figura 1l tratamiento que presenta porcentajes mayores de remoción para los parámetros en discusión es el correspondiente al tiempo de retención hidráulica de 8 días con la relación estiércol – agua 1:7. Además, se reflejó un incremento de eficiencia en el orden de menor a mayor remoción, siendo menos óptima la relación 1:4, seguido por la relación 1:10 y finalmente la más óptima la relación 1:7 para cada tiempo de retención hidráulica (5 y 8 días), lo anterior apoya la relación excreta-agua propuesta

por Beteta y González (2005) considerando que los valores límites dados presentan bajas eficiencias de remoción (1:4 y 1:10), puesto que a menor concentración de agua la materia orgánica tiende a compactarse dentro del sistema y por el contrario cuando presenta mayor cantidad de agua también puede influir como inhibidor de la fermentación anaerobia, interponiéndose en el tiempo necesario para que los microorganismos realicen su descomposición.

No obstante, teniendo en cuenta que en esta investigación el biodigestor tubular anaerobio cuenta con dimensiones a escala piloto, inferiores a los biodigestores convencionales, los porcentajes obtenidos son más eficientes con respecto a los tiempos de retención hidráulica manejados de 5 y 8 días, confirmando así lo mencionado por Díaz (2002) quien afirma que "se deben disminuir los tiempos de retención hidráulicos en los digestores anaerobios para mejorar el contacto entre el lodo y el sustrato, lo cual significa construir reactores de menor volumen ya que son sistemas más estables, de fácil operación y costos más bajos, viables para productores más pequeños"(MADS, 1974).

El análisis estadístico de la información se llevó a cabo por medio de una correlación de Pearson de los parámetros indicadores de remoción. En la Tabla 1 se muestran los resultados obtenidos a partir de las diferencias másicas de los parámetros fisicoquímicos con sus relaciones estiércol – agua (1:4, 1:7 y 1:10) a partir de la Ecuación 2.

Diferencia másica=Dato carga de entrada promedio-dato carga de salida promedio (Ecuación 2)

Tabla 1. Proyección de incremento del biodigestor tubular por cada 10 unidades de cerdos.

A	B	C	D	E	F	G
Estiércol promedio por cerdo (kg/día)	**N° cerdos**	**Estiércol total (kg) (A*B)**	**Cantidad de agua según relación 1:7 (C*7 L) (litros de agua)**	**Volumen líquido (L) (D*8días)**	**Volumen gas (L)**	**Volumen total (L) (E+F)**
1,5	10	15	105	840	360	1200
1,5	20	30	210	1680	720	2400
1,5	30	45	315	2520	980	3500
1,5	40	60	420	3360	1340	4700
1,5	50	75	525	4200	1700	5900
1,5	60	90	630	5040	1960	7000
1,5	80	120	840	6720	2580	9300
1,5	100	150	1050	8400	3600	12000

Nota: Cálculo del volumen necesario para instalar un biodigestor conforme aumenta la producción acorde a los resultados obtenidos. A: Estiércol promedio por cerdo, B: Número de cerdos, C: Estiércol total, D: Agua según relación 1:7, E: Volumen líquido (70%), F: Volumen del gas (30%) y G: Volumen total.

A partir de esta prueba se evidenció una correlación positiva (Pearson, r= 80,1%, p= 0,028) entre las variables Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) y Demanda Química

de Oxígeno (DQO) siendo directamente proporcionales entre sí según las diferencias másicas. Por ejemplo, la diferencia másica en el tiempo de retención hidráulica de 8 días con una relación estiércol – agua 1:7 para DBO fue de 1038 mg/L O2 y para DQO de 16067,25 mg/L O2.

Así mismo, se determinó una correlación positiva entre las variables sólidos suspendidos totales (SST) y sólidos suspendidos volátiles (SSV) (Pearson, r = 98,1%, p = 0,000269) a causa de que el valor de los SSV aumentó directamente proporcional a los SST, debido a que estos últimos son el resultado de la muestra no filtrable y para la obtención de los SSV se llevan los sólidos totales a calcinación a 550°C, donde la materia orgánica se oxida en forma de gas como dióxido de carbono (CO2) y agua, y a continuación se establecen por la diferencia entre la muestra anterior y los sólidos fijos indicando la cantidad de materia orgánica presente en la muestra (Argandoña & Macías, 2013).

También, se identificó la correlación positiva existente entre DBO y SSV (Pearson, r=57,8%, p = 0,115) debido a que los SSV son de naturaleza orgánica (Molina y Tigreros, 2005) aportando a una DBO de tipo insoluble susceptible a ser biodegradada por los microorganismos (Olivares, 2014).

Por otra parte, el valor de sólidos sedimentables (Ssed) se correlacionó negativamente con los parámetros DBO y DQO debido a que regularmente los sólidos sedimentables son sólidos de fácil decantación que se degradan difícilmente por el tamaño y la densidad de las partículas presentes.

También se realizó un análisis de varianza con los resultados obtenidos se encuentran de la Tabla 2 a la 6 referidos cada uno a un parámetro diferente. El valor F (valor del estadístico de prueba) para las muestras en el caso de los porcentajes de remoción de sólidos sedimentables (Ssed) en la Tabla 2, indican que no existen diferencias significativas (Fc=2,78, GLTotal =5, p=0,05) de los datos entre los dos tiempos de retención hidráulica y las tres relaciones planteadas (Fc=4,45, GLTotal =17, p=0,05),

Tabla 2. Análisis de varianza de los porcentajes de remoción de sólidos sedimentables para el esquema de parcelas divididas

	GL	SC	CM	Fc	Ft
TRH	1	224,64	224,65	18,36	7,71
Error TRH	4	48,94	12,23		
Total TRH	5	273,59			
Relaciones	2	81,70	40,85	8,09	4,45
TRH X Rel.	2	8,58	4,29	0,85	4,45
Error Rel.	8	40,41	5,05		
Total	17	404,28			

.

Nota: GL: Grados de libertad, SC: Suma de cuadrados, CM: Cuadrados medios, Fc: Estadístico calculado y Ft: F teórico

Por otra parte, para los sólidos suspendidos totales en la Tabla 3 se observa que se encontraron diferencias significativas entre los tiempos de retención hidráulica de 5 días y 8 días al ser Fc mayor que Ft (Fc=7,71, GLTotal =5, p=0,05), al igual para las relaciones estiércol – agua, 1:10, 1:7 y 1:4 (Fc=4,45, GLTotal =17, p=0,05).

Tabla 3. Análisis de varianza de los porcentajes de remoción de sólidos suspendidos totales para el esquema de parcelas divididas

	GL	SC	CM	Fc	Ft
TRH	1	224,64	224,65	18,36	7,71
Error TRH	4	48,94	12,23		
Total TRH	5	273,59			
Relaciones	2	81,70	40,85	8,09	4,45
TRH X Rel.	2	8,58	4,29	0,85	4,45
Error Rel.	8	40,41	5,05		
Total	17	404,28			

Nota: GL: Grados de libertad, SC: Suma de cuadrados, CM: Cuadrados medios, Fc: Estadístico calculado y Ft: F teórico.

En la Tabla 4 se observa que para el parámetro de sólidos suspendidos volátiles existen diferencias (Fc=7,71, GLTotal =5, p=0,05) entre los tiempos de retención hidráulica análizados al ser Fc mayor que el valor de Ft, del mismo modo para las relaciones estiércol – agua (Fc=4,45, GLTotal=17, p=0,05).

Tabla 4. Análisis de varianza de los porcentajes de remoción de sólidos suspendidos volátiles para el esquema de parcelas divididas

	GL	SC	CM	Fc	Ft
TRH	1	310,58	310,59	10,37	7,71
Error TRH	4	119,82	29,96		
Total TRH	5	430,41			
Relaciones	2	319,93	159,97	26,40	4,45
TRH X Rel.	2	18,13	9,06	1,50	4,45
Error Rel.	8	48,47	6,06		
Total	17	816,94			

Nota: GL: Grados de libertad, SC: Suma de cuadrados, CM: Cuadrados medios, Fc: Estadístico calculado y Ft: F teórico

Para la Demanda Biológica de Oxígeno según el análisis de varianza existen diferencias significativas entre las relaciones realizadas de 1:10, 1:7 y 1:4 (Fc=7,71, GLTotal=17, p=0,05), y los tiempos de retención hidráulica (Fc=4,45, GLTotal=5, p=0,05) al ser Fc mayor que Ft como se observa en la Tabla 5.

Tabla 5. Análisis de varianza de los porcentajes de remoción de demanda biológica de oxígeno para el esquema de parcelas divididas.

	GL	SC	CM	Fc	Ft
TRH	1	1862,58	1862,59	1829,51	7,71
Error TRH	4	4,07	1,02		
Total TRH	5	1866,66			
Relaciones	2	662,72	331,36	274,21	4,45
TRH X Rel.	2	355,89	177,94	147,25	4,45
Error Rel.	8	9,67	1,21		
Total	17	2894,93			

Nota: GL: Grados de libertad, SC: Suma de cuadrados, CM: Cuadrados medios, Fc: Estadístico calculado y Ft: F teórico.

En la Tabla 6, para el parámetro demanda química de oxígeno, se observa que existen diferencias significativas entre los dos tiempos de retención hidráulica y las relaciones estiércol – agua.

Tabla 6. Análisis de varianza de los porcentajes de remoción de demanda química de oxígeno de oxígeno para el esquema de parcelas divididas.

	GL	SC	CM	Fc	Ft
TRH	1	1623,93	1623,93	338,46	7,71
Error TRH	4	19,19	4,80		
Total TRH	5	1643,12			
Relaciones	2	587,09	293,55	51,29	4,45
TRH X REL.	2	101,83	50,91	8,90	4,45
Error Rel.	8	45,79	5,72		
Total	17	2377,83			

Nota: GL: Grados de libertad, SC: Suma de cuadrados, CM: Cuadrados medios, Fc: Estadístico calculado y Ft: F teórico.

Para lograr mayor eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales porcinas implementado a escala piloto se realizan las siguientes propuestas de optimización del sistema con el fin de garantizar la actividad de cría de cerdos con mejores condiciones operativas que permitan implementar una porcicultura sustentable:

Inicialmente basado en los resultados de los tratamientos realizados, este sistema puede funcionar con una capacidad de 307 litros operado con una relación de estiércol – agua 1:7 y un tiempo de retención hidráulica de 8 días, e instalar otro biodigestor en serie con las mismas condiciones operativas, para mejorar la remoción del efluente que proviene del TRH 8 (1:7) con una carga de 224,66 mg/L O2 de DBO y entra a un postratamiento en un biodigestor en serie tiende a reducirse en 33,81 mg/L O2 de DBO (Tabla 7), logrando mayores eficiencias de remoción, en comparación con sistemas de mayores dimensiones que requieren largos tiempos de retención hidráulica de aproximadamente 30 a 40 días para una fermentación mesofílica con una temperatura de 20 a 35°C asociado a los biodigestores tubulares (Olaya y González, 2009).

Tabla 7. Cálculos de implementación de un biodigestor en serie.

	A	B	C	D
	TRH 8 (1:7) Salida del biodigestor	**Eficiencia de remoción para el TRH 5 (1:7)**	**TRH 8 (1:7) Cantidad removida ((A*B)/100 %)**	**Salida del biodigestor en serie (A-C)**
DBO (mg/L)	224,66	84,95	190,85	33,81
DQO (mg/L)	2664,82	88,74	2364,76	300,06
Ssed (mL/L)	9,00	84,48	7,60	1,40
SST (mg/L)	580,60	81,04	470,52	110,08
SSV (mg/L)	311,67	86,50	269,59	42,08

Nota: Cálculos para mejorar la eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales porcinas con base en los resultados obtenidos**.**

Además, se tiene que conforme se incremente el número de cerdos en una granja porcina es necesario implementar un sistema con dimensiones mayores que tenga la suficiente capacidad de tratar la carga orgánica ingresada, es así como teniendo en cuenta el promedio de estiércol de cerdo por día propuestas por Vera, Martínez, Estrada, y Ortiz (2014). Se realizó una proyección de 10 cerdos hasta un total de 100 con base en los resultados que presentaron mayor eficiencia (Tiempo de retención hidráulica de 8 días con una relación estiércol – agua de 1:7), se obtuvo que para 10 cerdos el volumen del biodigestor debería tener un volumen de 1200 L (Tabla 8). De tal forma que, en la Figura 16 se evidencia en la regresión lineal la función y= 118,61x – 32,37 que representa el incremento del volumen del biodigestor con respecto a la cantidad de cerdos, lo cual es directamente proporcional con una R de 99, 93% que soporta la predicción realizada a partir de los cálculos.

4. CONCLUSIÓN

A través de las combinaciones realizadas de tiempos de retención hidráulica (5 y 8 días) y relaciones estiércol – agua de lavado (1:4, 1:7 y 1:10) en el biodigestor tubular anaerobio, se evidencio que el tratamiento que presentó la mayor eficiencia de remoción de materia orgánica teniendo en cuenta los parámetros fisicoquímicos del presente estudio fue el correspondiente al tiempo de retención hidráulica de 8 días con la relación estiércol – agua 1:7, con porcentajes de remoción de 84,48% para Ssed, 81,04% para SST, 86.5% para SSV, 84,57 para DBO y 88,74 para DQO, seguido de la relación estiércol-agua 1:10 para el tiempo de retención hidráulica de 8 días, con porcentajes de remoción del 78,88% para Ssed, 78,17% para SST, 78,82% para DBO y 81,52 para DQO. De modo que, pequeños productores pueden implementar esta tecnología en sus sistemas productivos, para mitigar la carga contaminante emitida al medio ambiente cuando se realiza una disposición inadecuada del estiércol porcino, exponiendo a la proliferación de vectores que pueden afectar la salud humana.

AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestro agradecimiento a la Universidad Santo Tomás – sede Villavicencio, y a la Unidad de Investigación por el apoyo financiero para la ejecución de dicho trabajo.
También, al Ingeniero Henry Contreras por el apoyo y orientación para la elaboración de esta investigación

5. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

APHA/AWWA/WEF. (2005). Standard methods for the examination of water and wastewater (SMAWW) (21th Ed.). Washington D.C.: American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation.

Argandoña, L., & Macías, R. (2013). Determinación de sólidos totales, suspendidos, sedimentados y volátiles en el efluente de las lagunas de oxidación situadas en la Parroquia Colón, Cantón Portoviejo, Provincia de Manabí. Disponible en: http://repositorio.utm.edu.ec/bitstream/123456789/137/1/DETERMINACION%20DE%20SOLIDOS%20TOTALES%2C%20SUSPENDIDOS%2C%20SEDIMENTADOS%20Y%20VOLATILES.pdf [Consultado 05 agosto de 2018].

Arrieta, W. (2016). Diseño de un biodigestor doméstico para el aprovechamiento energético del estiércol de ganado. Disponible en: https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2575/IME_200.pdf?sequence=1&isAllowed=y. [Consultado 13 marzo de 2018]

Beteta, T., & González. (2005). Manual de construcción y uso de biodigestores tubulares plásticos. Guía Técnica No. 7, Universidad Nacional Agraria, Managua. Disponible en: http://repositorio.una.edu.ni/2412/1/nf04b562.pdf [Consultado 15 de febrero 2018].

Campos C. (2011). Metodología para determinar los parámetros de diseño y construcción de biodigestores para el sector cooperativo y campesino. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 20(2): 37-41.

Chará, J., Pedraza, G., & Conde, N. (2002). Instalación y mantenimiento de biodigestores plásticos. Cali, Colombia: CIPAV.

CORMACARENA. (2015). Guía ambiental para sistemas de producción porcícola en el Departamento del Meta. Disponible en: https://asociados.porkcolombia.co/porcicultores/images/porcicultores/publicaciones/GUIA-AMBIENTAL-PARA-SISTEMAS-PORCICOLAS-CORMACARENA.pdf [Consultado 15 abril 2018].

Díaz, M., Espitia, S., & Molina, F. (2002). Digestión anaerobia: Una aproximación a la tecnología. (Primera edición). Disponible en: http://www.bdigital.unal.edu.co/43178/2/9587011961_Parte%201.pdf. [Consultado 14 abril 2018].

FAO. (1995). Biodigestor de plástico de flujo continuo, generador de gas y bioabono a partir de aguas servidas. Guatemala: CIPAV Fundación Centro para Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria.

Flickr. (2018). Twenergy. Disponible en: https://twenergy.com/co/a/el-tratamiento-de-aguas-residuales-en-colombia-1142. [Consultado 15 abril 2018].

Garzón, M., & Buelna, G. (2013). Caracterización de aguas residuales porcinas y su tratamiento por diferentes procesos en México. Revista Internacional de Contaminación Ambiental. 30(1): 65-79.

Gutiérrez, N., Aragón, E., & Valencia, R. (2014). Eficiencia de remoción de DBO5 y SS en sedimentador y lecho filtrante para el tratamiento de aguas residuales en el beneficio del café. Colombia Forestal, 17(2): 151-159.

IDEAM. (2007). Demanda bioquímica de oxígeno 5 días. Disponible en: http://www.ideam.gov.co/documents/24155/125581/30-3.16_HM_Promedio_DBO_3_FI.pdf/0a5a3ba7-d6d9-49b8-85f3-dde52f30530c. [Consultado 03 enero 2018].

Lagos, F. (2013). Análisis de factibilidad técnica y económica de la generación de biogás a partir de purines mediante biodigestores anaerobios. Disponible en: http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/131621/Analisis-de-factibilidad-tecnica-y-economica-de-la-generacion-de-biogas-a-partir-de-purines-mediante-biodigestores-anaerobios.pdf?sequence=1. [Consultado 06 febrero 2018].

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) (1974). Decreto 2811. Disponible en: https://redjusticiaambientalcolombia.files.wordpress.com/2014/04/decreto-ley-2811-de-1974.pdf [Consultado 18 de octubre 2017]

Méndez, R., Mena, R., Castillo, E., & Sauri, M. (2013). Evaluación de un reactor UASB para aguas porcinas inoculado con líquido ruminal. Ingeniería, 17(1): 41-55.

Millares, P. (2011). Manejo de efluentes. Buenos Aires: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Disponible en: http://www.ciap.org.ar/ciap/Sitio/Archivos/Manejo%20de%20efluentes%20porcinos.pdf [Consultado 15 de septiembre 2017].

Molina, K., Caicedo, L. & Duque, C. (1999). Tratamiento de las excretas de cerdo mediante un reactor anaeróbico SCFBR a nivel de banco. Revista colombiana de biotecnología. 2(1): 7-15.

Molina, A., & Tigreros, J. (2005). Evaluación preliminar de la remoción de sólidos suspendidos en el sistema de tratamiento de aguas residuales del municipio de Arauca. Disponible en: http://bdigital.unal.edu.co/4864/1/tesissas.pdf. [Consultado 15 de octubre 2017].

Noyola, A. (1997). Tratamiento anaerobio de aguas residuales. En: Foro Internacional Comparación de dos Tecnologías en Aguas Residuales Domésticas para Municipalidades. Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 40 p.

Olaya, Y., & González, L. O. (2009). Fundamentos para el diseño de biodigestores. Palmira, Colombia: Universidad Nacional de Colombia. Disponible en: http://www.bdigital.unal.edu.co/7967/4/luisoctaviogonzalezsalcedo.20121.pdf [Consultado 08 diciembre 2017].

Olivares, M. (2014). Calidad de las aguas residuales. Obtenido de Asociación Nacional de Empresas de Agua y Saneamiento: http://www.cmic.org.mx/comisiones/Sectoriales/infraestructurahidraulica/2015/ANEAS_PRESENTACIONES2014/Presentaciones%20C%20y%20T/8%20Calidad%20del%20Agua/Calidad%20de%20las%20aguas%20residuales%20ANEAS%20XXVIII%20Convencion%20MXOP.pdf [Consultado 08 enero 2018].

Sánchez, M., Peón, I., Cardona, T., Ortega, L. & Urriolagoitia, G. (2016). Evaluación inicial de parámetros de campo en un biodigestor anaeróbico para el tratamiento de aguas residuales. Revista Colombiana de Biotecnología, 18(1): 173-184.

Soria, M., Ferrera, R., Etchevers, J., Alcántar, G., Santos, J., Borges, L. y Pereyda, G. (2001). Producción de biofertilizantes mediante digestión de excreta líquida de cerdo. Terra latinoamericana, 19(4): 353-362.

Vera, I., Martínez, J., Estrada, M., y Ortiz, A. (julio- septiembre de 2014). Potencial de generación de biogás y energía eléctrica Parte I: excretas de ganado bovino y porcino. Ingeniería Investigación y Tecnología, 15(3): 429-436.

Normas de publicación Revista de Ciencias e Ingeniería

1. Preparación de manuscritos

Los trabajos deben ser enviados electrónicamente en formato Word con letra Times New Roman 11. Las tablas (formato World) deberán ir al final del documento, en páginas separadas. Las figuras (mapas, gráficos, esquemas y fotografías) serán anexadas como archivos separados en formato JPG o TIFF (300 dpi como mínimo). Al final del documento principal deberá incluirse una hoja con las leyendas de las figuras.

El texto deberá estar escrito en hojas tamaño carta, interlineado a doble espacio, con márgenes de 3 cm y justificación completa, sin sangría y a una sola columna. Solo el título y los subtítulos de secciones irán en mayúscula y negritas, el título centrado y los subtítulos en el margen izquierdo. Las letras cursivas deberán usarse solo cuando se empleen palabras en latín, en los nombres de las revistas y en los nombres de libros de la literatura citada. Se debe usar el sistema métrico y sus abreviaciones (mm, cm, m, km, g, kg) para todas las medidas y utilizar decimales en lugar de fracciones. Cuando los números enteros del cero al diez no estén seguidos de unidades se escribirán con letras. Los acrónimos se deben explicar completamente la primera vez que aparezcan en el texto.

2. Estructura de los manuscritos

2.1 Artículos científicos

No deberán exceder las 30 páginas, sin incluir figuras y tablas. En la primera página debe ir el título en negrilla, letra times new roman 14 puntos, a espacio 2 (en español y en inglés), el título debe ser informativo pero corto, no excediéndose de 17 palabras. Debajo del título, a dos espacios de este, debe ir nombre del(los) autor(es), seguido de un superíndice numérico (1, 2, 3, etc) para indicar posteriormente su afiliación. Si existe más de un autor, se deben adicionar los superíndices a cada uno de ellos consecutivamente. A dos espacios de los autores, se coloca formación académica (el mayor grado), la afiliación institucional, nombre de la Universidad, grupo de investigación al que pertenece (opcional) y correo electrónico del autor responsable de la correspondencia.

Seguidamente debe presentarse:

Título abreviado. En el idioma original. Este se empleará en los encabezados de las páginas, no debe exceder seis palabras.

RESUMEN. Constituido por un solo párrafo de máximo 200 palabras. Debe ser conciso e informativo, conteniendo una síntesis de los principales puntos tratados en el manuscrito, incluyendo los métodos empleados y los principales resultados y conclusiones.

Palabras clave. Máximo cinco palabras clave separadas por coma. Estas no deben estar contenidas en el título.

ABSTRACT. Debe ser una fiel traducción del resumen.

Key words. Deberán ser las mismas que las palabras clave, traducidas al inglés.

En caso de textos en inglés, estos deberán presentar un TÍTULO y RESUMEN en español.

INTRODUCCIÓN. Debe enunciar la naturaleza del problema, ubicándolo en un contexto y justificando su estudio. Así mismo, se deben incluir los objetivos del trabajo. No se trata de una revisión extensa de literatura, por lo que se recomienda que no exceda las tres páginas.

MATERIALES y MÉTODOS. Debe presentarse la información indispensable para que el trabajo pueda ser replicado por otros investigadores. Por brevedad, si los métodos seguidos han sido publicados, se explicarán brevemente y se citará la publicación original de esos métodos. Los el diseño experimental y los análisis estadísticos deben ser detallados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN. Debe comprender estrictamente los datos obtenidos en el trabajo y presentarse en una secuencia lógica, siguiendo la presentación de MATERIALES y MÉTODOS. Si se presentan resultados estadísticos dentro del texto, deben acompañarse de los parámetros básicos de la prueba aplicada. El texto de esta sección no puede ser redundante con la información consignada en las tablas y figuras. La discusión debe comprender una interpretación de los resultados, indicando las hipótesis que han sido sometidas a prueba y su aplicabilidad. Debe comparar los resultados del trabajo con los encontrados por otros autores, explicando las discrepancias o coincidencias. Al final de esta sección se deberá incluir un párrafo a modo de conclusión general del trabajo.

AGRADECIMIENTOS (opcional). Únicamente deben incluirse personas, grupos o entidades que apoyaron directamente la realización del trabajo.

LITERATURA CITADA.

Las referencias bibliográficas en el texto se citarán, dependiendo el caso, como: De Luna (1995), (De Luna 1995), (De Luna 1995, 2001), Arita & Rodríguez (2001), (Arita & Rodríguez 2001), Soler *et al*. (1987) y (Soler *et al*. 1987). Cuando en un párrafo del texto se citen varias referencias, estas deberán citarse en orden cronológico. En el texto y la LITERATURA CITADA se presentarán sólo las referencias bibliográficas publicadas o en prensa. Toda cita hecha en el texto debe ser incluida en LITERATURA CITADA y viceversa.

En la LITERATURA CITADA las referencias deben aparecer en orden alfabético y cronológico de la siguiente manera:

Artículo: Abseher R., L. Horstink, C.W. Hilbers & M. Nilges. 1998. Essential spaces defined by NMR structure ensembles and molecular dynamics simulation show significant overlap. *Proteins*, 31: 370–382.

Libro: Strong D.R., D. Simberloff, L.G. Abele & A.B. Thistel. 1984. *Ecological communities: Conceptual issues and the evidence*. Princeton University Press, Princeton, Nueva Jersey, 613 pp.

Capítulo de libro: Rangel-Ch. J. & H. Arellano 2004. Clima del Chocó biogeográfico/costa Pacífica de Colombia, pp. 39-82. En: J.O. Rangel-Ch. (Ed.), *Colombia - Diversidad Biótica IV. El Chocó biogeográfico / Costa Pacífica*. Instituto de Ciencias Naturales. Bogotá.

O

Fox, B.J. 1989. Small-mammal community patterns in Australian heathlands: A taxonomically based rule for species assembly, pp. 91-103. En: D. W. Morris, Z. Abramsby, B.J. Fox & M.R. Willig (Eds.), *Patterns in the structure of mammalian communities*. Special Publication, The Museum, Texas Tech University 28, Lubbock, Texas.

Documento en internet: Schuster, J. C. & Cano, E. B. (2008). Key to American genera of Passalidae. Disponible en: http://museum.unl.edu/research/entomology/Guide/Scarabaeoidea/Passalidae/Passalidae-Key/Key2008.pdf [Consultado 10 de julio 2012].

Disertación doctoral: Reyes-Castillo, P. 2004. La tribu Passalini (Coleoptera: Passalidae, Passalinae) en México. Tesis Doctoral, Universidad Autónoma Metropolitana, México.

Tablas y figuras

Deberán ser autoexplicativas y estar citadas en orden numérico en el texto. En el texto se deben citar como: Figura XX o (Figura XX), Tabla XX o (Tabla XX). Si las abreviaciones y símbolos en las figuras o tablas no han sido explicadas en el texto, deberán explicarse en la leyenda. La leyenda de cada tabla se colocará en la parte superior de la respectiva tabla, y las leyendas de las figuras irán en la parte final del documento. Se recomienda enviar figuras compuestas de varias subfiguras, a cambio de figuras individuales; así, en caso de tener un mosaico en una misma figura, se deben numerar con ordinales (Figura 1a o Figura 2b).

2.2 Notas científicas

No deberán exceder las cinco hojas, incluyendo figuras y tablas. En general siguen las mimas normas que los artículos. Deberán contener el TITULO en el idioma original y en inglés, Resumen en español o Abstract en inglés con no más de cinco líneas. El nombre del (los) autor(es), Institución, dirección postal del autor y correo electrónico. El texto incluirá Material y métodos, Resultados y Discusión sin subtítulos. La literatura citada se presentará como en los artículos. Al final se indicarán los Agradecimientos (opcional) como un subtítulo.

Proceso de revisión

Deberá enviarse un correo electrónico a revista@uniguajira.edu.co con los siguientes documentos:

- Versión electrónica del manuscrito (WORLD).
- Carta de presentación que exponga la temática que se trata en el manuscrito y la importancia de la misma.
- Carta de transferencia de derechos de autor diligenciada.

El autor puede sugerir hasta tres potenciales evaluadores proveyendo: nombre, afiliación institucional, dirección electrónica y dirección física.

El Comité Editorial enviará confirmación de recibido, acompañada de un código que el autor deberá usar cuando se comunique con la Revista de Ciencia e Ingeniería.

El Comité Editorial revisará el cumplimiento de las normas editoriales y la calidad científica del manuscrito. Los trabajos que no sigan las normas de presentación se devolverán sin pasar por el proceso de evaluación. Los trabajos que cumplan con los criterios de

presentación y calidad serán enviados a pares externos para su evaluación. Los conceptos emitidos por los evaluadores pueden ser:

Aceptado sin cambios.

Aceptado con cambios menores.

Aceptado con cambios mayores

Solicitud de resometimiento después de corrección.

Rechazado.

Dependiendo de los conceptos emitidos por los evaluadores, las observaciones de estos se harán llegar al autor principal, quien deberá devolver una versión corregida del manuscrito, en la que se satisfaga las observaciones de los evaluadores. Acompañando a esta nueva versión del manuscrito, se deberá anexar un documento en el que se respondan los comentarios de los evaluadores y sustenten los casos en los que no se acepte alguna sugerencia o recomendación de los evaluadores. Si los cambios sugeridos por los evaluadores son sustanciales, quedará a criterio de comité Editorial enviar una la segunda versión del manuscrito a los evaluadores externos. Finalmente, el Comité Editorial revisa el documento y el Editor General comunica la aceptación definitiva cuando a juicio del Comité el manuscrito cumple con las exigencias de la revista.

Finalmente, personal de la revista ciencia e Ingeniería editará cada manuscrito aceptado, corrigiendo errores gramaticales, la sintaxis y la ortografía. Esta versión final será enviada al evaluador principal para su autorización.

3. Normas para los evaluadores

3.1 Privacidad de los resultados no publicados

Un manuscrito inédito es un documento confidencial. Al aceptar se evaluador de la revista Ciencia e Ingeniería, el evaluador acepta proteger el manuscrito en cuestión de cualquier forma de explotación. No citar un manuscrito o hacer referencia a lo que en él se describe, antes de que haya sido publicado y no utilizar la información que contiene para el avance de su propia investigación o en la discusión con colegas. Así mismo, el evaluador no

deberá comunicarse con los autores del manuscrito, salvo autorización concedida por el Editor.

3.2 Plazos para evaluación

Las revisiones deben realizarse en un plazo no mayor a 21 días. Si el evaluador es consciente de que no podrá evaluar el manuscrito en este periodo de tiempo, deberá informárselo al asistente editorial.

3.3. Imparcialidad de la evaluación

El evaluador se compromete a revisar imparcialmente el manuscrito. Si el evaluador considera que no puede revisar un manuscrito de manera imparcial, ya sea por relaciones con los autores o un posible conflicto de interés, deberá retornar el documento con la consecuente explicación.

3.3 Criterios de evaluación

La revisión debe dar su impresión general del manuscrito y una la lista de las principales deficiencias. Los principales aspectos que debe considerar son:

- La originalidad del trabajo y si el contenido es digno de publicarse.
- La articulación de las hipótesis planteadas y su sometimiento a prueba.
- Lo apropiado del diseño experimental
- La calidad del análisis técnico
- La interpretación de los resultados
- La adecuada discusión de los resultados, colocándolos en un contexto local y global.

Es deseable que el evaluador también realice comentarios que permitan mejorar la presentación del manuscrito; tales como, comentarios sobre la longitud innecesaria de algún texto o figuras y tablas con una importancia secundaria, que pudieran ser presentados como material complementario o simplemente citarse dentro del texto.

Revisión gramatical

No está dentro de las obligaciones del evaluador el corregir las deficiencias de estilo o los errores en la gramática de un manuscrito. Sin embargo, la revista de Ciencia e Ingeniería agradecería cualquier ayuda a este respecto. Esto es principalmente útil en la falta de ortografía en nombres de lugares, especies y términos propios de alguna jerga científica.,

Revista Ciencia e ingeniería

Transferencia de derechos de autor

Ciudad

Los abajo firmantes certificamos que el artículo de nuestra autoría "_____"

, presentado a la revista Ciencia e Ingeniería de La Universidad de La Guajira (ISSN), es una contribución original y no ha sido publicada previamente (en forma impresa o electrónica); que actualmente no sigue otro proceso de publicación y que cumple a cabalidad los derechos de autor al hacer uso del derecho de cita. Así mismo, la responsabilidad final recae sobre los autores y no sobre la Revista, el editor o el representante legal de la misma. Finalmente, los autores transfieren a la revista Ciencia e Ingeniería el derecho exclusivo de autor y los derechos conexos en el artículo, incluyendo el derecho de publicar el trabajo en todas las formas y medios de comunicación como prensa escrita y todas las otras formas de publicación electrónica o cualquier otro tipo de publicación.

Autor:_____Fecha_____

Autor:_____Fecha_____